



JUHANI VIRKANEN, RAIMO HEIKKILÄ JA TAPIO LINDHOLM

KERROSSAMMALTEN RASKASMETALLIPITOISUUDET KUHMOSSE 1989

VESI- JA YMPÄRISTÖHALLITUS
Helsinki 1994

169

JUHANI VIRKANEN, RAIMO HEIKKILÄ JA TAPIO LINDHOLM

**KERROSSAMMALTEN RASKASMETALLIPITOISUUDET
KUHMOSSA 1989**

Etukannen kuva: Kuhmon aarniometsää
Kuvat: Tapio Lindholm

Tekijät ovat vastuussa julkaisun sisällöstä, eikä siihen voida vedota vesi- ja ympäristöhallituksen virallisena kannanottona.

VESI- JA YMPÄRISTÖHALLINNON JULKAISUJA koskevat tilaukset:
Painatuskeskus Oy, PL 516, 00101 Helsinki
Postimyynti, puh. (90) 566 0266

ISBN 951-47-8780-3
ISSN 0786-9592

Helsinki 1994

Julkaisija
Vesi- ja ympäristöhallitus

Julkaisun päivämäärä
11.2.1994

Tekijä(t) (toimielimestä: nimi, puheenjohtaja, sihteeri)
Juhani Virkanen, Raimo Heikkilä ja Tapio Lindholm

Julkaisun nimi (myös ruotsinkielinen)
Kerrossammalten raskasmetallipitoisuudet Kuhmossa 1989
(Tungmetallhalten i husmossa (*Hylocomium splendens*) i Kuhmo 1989)

Julkaisun laji
Tutkimusraportti

Toimeksiantaja

Toimielimen asettamispvm

Julkaisun osat

Tiivistelmä

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää Kostamuksen metallirikastamon aiheuttaman alueellisen raskasmetallilaskeuman määrää ja laatua Kuhmon kunnassa vuonna 1989. Tutkimusmateriaalina käytettiin koko kunnan alueelta kerättyjä kerrossammalnäytteitä (*Hylocomium splendens*). Märkäpoltton menetelmällä esikäsiteltiin kaikkiaan 230 sammalnäytettä, joista määritettiin AAS-menetelmällä Cd-, Cu-, Fe-, Mn-, Ni- ja Zn-pitoisuudet. Metallipitoisuuksien riippuvuutta testattiin tilastollisesti seuraavien tekijöiden kanssa: etäisyys Kostamuksen rikastamosta ja Kuhmon keskustasta, vuosikasvainversojen massa ja metallipitoisuudet keskenään. Lisäksi testattiin vaihtelevatko kerrossammalten raskasmetallipitoisuudet kasvu ympäristön metsän kehitysluokan kanssa.

Tutkimustulokset osoittivat, että Kostamuksen metallirikastamolla on toistaiseksi ollut hyvin vähäinen vaikutus Kuhmon raskasmetallikuormitukseen, josta suurin osa lienee kaukolaskeumaa. Cu- ja Zn-pitoisuuksien todettiin liittyvän sammalten vähäisempään kasvuun. Fe-pitoisuudet puolestaan liittyivät parempaan kasvuun. Metsän kehitysluokalla ei havaittu olevan vaikutusta sammalten raskasmetallikertymään, lukuunottamatta Cu-pitoisuuksia, jotka olivat nuorimmista metsistä kerätyissä näytteissä selvästi pienempiä kuin vanhimmista metsistä kerätyissä näytteissä.

Asiasanat (avainsanat)

Kerrossammalet, *Hylocomium splendens*, raskasmetallit, rikastamot, ympäristövaikutukset, Ystävyyden puisto, Kostamus, Kuhmo

Muut tiedot

Sarjan nimi ja numero

Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja
- sarja A 169

ISBN

951-47-8780-3

ISSN

0786-9592

Kokonaissivumäärä

38

Kieli

Suomi

Hinta

Luottamuksellisuus

Julkinen

Jakaja

Painatuskeskus Oy
PL 516, 00101 Helsinki

Kustantaja

Vesi- ja ympäristöhallitus
PL 250, 00101 Helsinki

PRESENTATIONSBLAD

Utgivare
Vatten- och miljöstyrelsen

Utgivningsdatum
11.2.1994

Författare (uppgifter om organet: namn, ordförande, sekreterare)
Juhani Virkanen, Raimo heikkilä och Tapio Lindholm

Publikation (även den finska titeln)
Tungmetallhalten i husmossa (*Hylocomium splendens*) i Kuhmo 1989
(Kerrossammalten raskasmetallipitoisuus Kuhmossa 1989)

Typ av publikation
Forskningsrapport

Uppdragsgivare

Datum för tillsättandet av organet

Publikationens delar

Referat

Projektets målsättning var att uppskatta vilken mängd och effekt tungmetalldepositionen från smältverket i Kostamus hade i Kuhmo under 1989. Husmossa (*Hylocomium splendens*) insamlades inom ett ca 5 500 km² stort område i Kuhmo. 230 mossprov förbehandlades med våtförbränningsmetoden varefter Cd-, Cu-, Fe-, Mn-, Ni- och Zn-halterna i mossproven analyserades med AAS-metoden. Med hjälp av statistiska metoder undersöktes hur tungmetallhalterna förhöll sig till följande faktorer: avståndet från Kostamus smältteri och Kuhmo centrum, mossans årliga tillväxt, samt hur de olika metallernas halter förhöll sig till varandra. Dessutom undersöktes om tungmetallhalterna i mossan var beroende av skogens utvecklingsstadium.

Resultaten visar att utsläppen från smältverket i Kostamus hittills har haft ringa betydelse för tungmetallbelastningen i Kuhmo. Största delen av metallerna i mossan härrör troligen från fjärrdepositionen. Cu- och Zn-halterna i mossan korrelerade negativt till mossans tillväxt medan Fe-halterna korrelerade positivt. Skogens utvecklingsstadium (ålder) visade ingen korrelation till de olika metallhalterna med undantag av koppar vars halter var betydligt lägre i de yngre bestånden.

Sakord (nyckelord)

Husmossa, *Hylocomium splendens*, tungmetaller, smältier, miljöpåverkningar, Kostamus, Kuhmo

Övriga uppgifter

Seriens namn och nummer

Vatten- och miljöförvaltningens publikationer -

ISBN

951-47-8780-3

ISSN

0786-9592

Sidantal

38

Språk

Finska

Pris

Sekretessgrad

Offentlig

Distribution

Tryckericentralen Ab
PB 516, FIN-00101 Helsingfors
Finland

Förlag

Vatten- och miljöstyrelsen
PB 250, FIN-00101 Helsingfors
Finland

Published by
The National Board of Waters and the Environment

Date of publication
11.2.1994

Author(s)
Juhani Virkanen, Raimo Heikkilä and Tapio Lindholm

Title of publication
Heavy metal content in forest mosses (*Hylocomium splendens*) in Kuhmo 1989

Type of publication
Scientific report

Commissioned by

Parts of publication

Abstract

The aim of this study was to assess the amount and quality of the heavy metal deposition caused by the Kostamus metal refinery in Kuhmo town area in the year 1989. Forest mosses (*Hylocomium splendens*) were collected from different part of the town of Kuhmo, covering c. 5 500 sq.km. 230 moss samples were treated using wet combustion, and Cd, Cu, Fe, Mn, Ni and Zn content was determined by AAS. The dependance of metal content was tested statistically with following factors: distance from Kostamus refinery, distance from Kuhmo town centre, annual growth of the mosses, and metals with each other. In addition it was tested, if the heavy metal content of mosses depended on the age of the forest at sampling sites.

The results showed that so far the Kostamus metal refinery has had very little influence on the heavy metal load in Kuhmo. Greatest deal of it probably origins from long distance transport. Cu and Zn content correlated slightly negatively with the growth of mosses and Fe content correlated positively. The age of forest was not found to correlate with heavy metal content, with the exclusion of copper, the content of which was clearly lower in young than in old forests.

Keywords

Forest mosses, *Hylocomium splendens*, heavy metals, metal refineries, environmental impacts, Nature reserve "Friendship", Kostamus, Kuhmo

Other information

Series (key title and no.)
Publications of the Water and Environment
Administration – series A 169

ISBN
951-47-8780-3

ISSN
0786-9592

Pages
38

Language
Finnish

Price

Confidentiality
Public

Distributed by
Painatuskeskus Oy
P.O. Box 516, FIN-00101 Helsinki
Finland

Publisher
National Board of Waters and the Environment
P.O. Box 250, FIN-00101 Helsinki
Finland

SISÄLLYS

1	JOHDANTO JA TUTKIMUSONGELMA.....	9
2	TUTKIMUSALUE.....	10
2.1	Kostamus.....	10
2.2	Kuhmo.....	10
3	TUTKIMUSMENETELMÄT.....	13
3.1	Näytteenotto.....	13
3.2	Laboratoriotyöt.....	14
3.3	Tulosten käsittely.....	15
3.4	Analyysien luotettavuus.....	17
4	TULOKSET.....	18
4.1	Absoluuttiset metallipitoisuudet.....	18
4.2	Absoluuttisten metallipitoisuuksien vaihtelu Kuhmon alueella.....	19
4.3	Absoluuttisten metallipitoisuuksien riippuvuussuhteet.....	26
5	ULKOISTEN TEKIJÖIDEN VAIKUTUS KERROSSAMMALTEN KASVUUN....	30
5.1	Absoluuttisten metallipitoisuuksien vaikutus kerrossammalten kasvuun.....	30
5.2	Metsän kehitysluokan vaikutus kerrossammalten kasvuun ja vuosikasvainversojen metallipitoisuuksiin.....	32
6	YHTEENVETO.....	34
7	KIITOKSET.....	34
	KIRJALLISUUS.....	35

1 JOHDANTO JA TUTKIMUSONGELMA

Metsäsammalet, erityisesti kerrossammalet (*Hylocomium splendens*) ja seinäsammalet (*Pleurozium schreberi*) ovat sopivia tutkimuskohteita arvioitaessa atmosfääristä, eli ilman kautta kuiva- tai märkälasseumassa kulkeutuvaa raskasmetallikuormitusta. Sammalet kasvavat jokseenkin riippumattomina maaperän vedestä, ja ne ottavat kaikki tarvitsemansa ravinteet ilmasta, jolloin niiden lehdille pidätyvät myös kuiva- tai märkälasseumassa olevat epäpuhtaudet, kuten raskasmetallit (Tamm 1953). Täten sammalista havaittujen raskasmetallipitoisuuksien voidaan katsoa edustavan pitoisuuksia kuiva- ja märkälasseumassa. Sitoutuminen sammalmateriaaliin tapahtuu yksinkertaisen absorptio-, kationinvaihdon, tai aktiivisten aineenvaihduntaprosessien avulla (ks Rühling ja Tyler 1970). Kerrossammalissa on selvät vuosikasvainlehdvästöt, joista riittävästi valoa saavat kaksi elossa olevaa nuorinta vuosikasvainta (Tamm 1953). Vuosikasvaimet on helppo erottaa toisistaan ja tutkia jokin tietty vuosikasvain. Pitoisuudet eri vuosikasvaimissa eivät tosin ole suoraan verrannollisia maatumisen ja erilaisten absorptio-ominaisuuksien takia (Rühling ja Tyler 1970:8).

Pohjoismaissa metsäsammalia on käytetty paikallisten päästölähteiden vaikutusten tutkimisen ohella (Pakarinen ja Rinne 1979; Folkeson 1981a, 1981b) myös alueellisen metallilasseuman arviointiin (Rühling et al. 1987, 1992; Rühling ja Tyler 1968, 1969, 1973, 1984, Kubin ja Issakainen 1991; Rinne ja Mäkinen 1988, Ross 1989). Metsäsammalten ohella on alueellisen metallilasseuman mittaamiseen käytetty suosammalia Pakarinen (1978, 1981, Pakarinen ja Tolonen 1973; Aulio 1982). Myös rahkaturpeista valmistettuja sammalpalloja on käytetty indikaattoreina, mikäli tutkimusalueella ei ole sopivaa luontaista tutkimusmateriaalia (Mäkinen 1977; Hynninen 1986). Tutkimusmateriaali on valittava huolellisesti, koska eri lajien absorptio-ominaisuudet vaihtelevat (Mäkinen ja Pakarinen 1977; Pakarinen ja Mäkinen 1976, Folkeson 1978).

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää raskasmetallilasseuman määrää ja laatua Kuhmon kaupungin alueella vuonna 1989. Tutkimusmateriaalina ovat koko kaupungin alueelta kerätyt kerrossammalnäytteet, joista on mitattu Cd-, Cu-, Fe-, Mn- Ni- ja Zn-pitoisuudet. Nämä metallit ovat tyypillisiä metalliteollisuuden päästöjä. Cd-päästöjä syntyy myös lannoitteiden ja fossiilisten polttoaineiden käytöstä. Ni-päästöt syntyvät myös fossiilisten polttoaineiden käytöstä. Alueellisen levinneisyyden ohella on tutkittu ovatko näiden metallien päästöt mahdollisesti peräisin jostakin pistemäisestä lähteestä vai edustaako metallikuormitus alueellista kaukolasseumaa. Tämän lisäksi on tutkittu metallipitoisuuksien, sammalten kasvun ja metsän kehitysluokan välistä yhteyttä

Ilmatieteen laitoksessa laadittujen päästötietoihin ja säähavaintoihin perustuvien laskeumamallien mukaan laskeumat ovat Kuhmon itäosissa samaa luokkaa kuin Itä-Lapissa. Koska lähinnä Kostamuksesta peräisin tulevia päästöjä on tullut vasta lyhyen aikaa, ei puustossa ole Kuhmossa vielä selviä silminnähäviä vaurioita. Kuhmo on pinta-alaltaan laaja kaupunki, joten laskeumassa voi kuitenkin olla suuria alueellisia eroja.

2 TUTKIMUSALUE

2.1 Kostamus

Kostamuksen kaupunki sijaitsee Venäjän Karjalan autonomisessa tasavallassa 250 km itään Kajaanista ja 35 km Suomen ja Venäjän rajalta (Kuva 1.). Tämän vuonna 1973 perustetun kaupungin asukasmäärä on noin 32000. Kaupungista 12 km pohjoiseen on Kostamuksen kaivos- ja rikastamokombinaatti (64°41' N, 30°45' E), joka tuottaa vuosittain kolmella tuotantolinjalla 9 400 000 tn rautapellettejä, jotka ovat 65-prosenttista rautaa. Tuotannon oletetaan nousevan vähitellen 10 000 000 tonniin (Synthesis report 1991:44). Kombinaatti sijaitsee alemman proterozooisen metamorfoituneen vulkaanis-sedimentaarisen jakson alueella. Kyseinen jakso on 0.5-3 km leveä ja 12 km pitkä pohjois-etelä -suuntainen synkliini. Kivilajit ovat metavulkaniitteja, jotka ovat plagioporfyyriittejä ja rytmisesti kerrostuneita tuffiitteja. Synkliinin länsilaidalla metamorfoituneet tuffibreksiat ovat suurimpien rautapitoisten kvartsiittien alla. Rautapitoiset kvartsiitit muodostavat alueen keskellä kaaren muotoisen muodostuman. Esiintymä sisältää noin $1200 \cdot 10^6$ tn rautaa, jonka pitoisuus kivessä on keskimäärin 30.4 massa-%. (Dunning et al. 1989, 289).

Metallirikastamon tuotantolinjat on varustettu sykloneilla ja elektrostaattisilla pölynpoistajilla. Rikinkoistolaitteistojen ensimmäinen vaiho otetaan käyttöön kevättalvella 1994. Vuotuiset SO₂-päästöt vaihtelevat eri raporttien mukaan välillä 61000-70000 tn. Rautamalmi sisältää 0.2-0.6% rikkiä, joten vuotuinen rautatuotanto tuottaa 51000 tn SO₂ ja loput päästöistä syntyvät prosessissa käytettävästä raskaasta polttoöljystä ja kaupungin lämmittämisestä. Alimman päästörajan mukaan Kostamuksen osuus koko Karjalan SO₂-päästöistä oli vuonna 1987 36%. Teoreettisesti arvioituna Kuhmon suuntaan kulkeutuu noin 11% Kostamuksen päästöistä. (Synthesis report 1991:44).

2.2 Kuhmo

Kuhmon kaupunki sijaitsee Oulun läänissä Sotkamon reitin yläjuoksulla valtakunnan itärajalla (Kuva 1), suunnilleen leveyspiirien 63°45'-64°30' ja pituuspiirien 29°00'-30°30' rajoittamalla alueella. Kaupungin kokonaispinta-ala on 5459.9 km², josta maata on 4832.2 km² ja vesistöjä 636.8 km². Maa-alasta 1.8% on peltoa ja 80% metsää (Tikkanen 1986:74). Asukasluku on 12878 (31.12. 1990) ja taajama-aste 55.7% (1987) (Kainuun-Pohjois-Karjalan taskutilasto 1991:2).

Pitkäaikaishavaintojen (1931-60, ellei toisin mainita) perusteella voi Kuhmon alueen ilmastoa luonnehtia seuraavasti. Vuoden keskilämpötila on noin 1.5 °C. Termisen kasvukauden pituus on 135-134 vrk. Termisen kesän lämpösumman 100 °C ajankohta ajoittuu välille 28.6.-10.7. Kesän maksimilämpötilan keskiarvo on +28-29 °C. Termisen talven pituus on 170-180 vrk. Pakkaspäiviä, jolloin lämpötila on <0 °C on 200-220 ja päiviä, jolloin lämpötila on < -10 °C on 90-100. Talven alin absoluuttinen lämpötila on keskimäärin -34-36 °C (Helminen 1987a: 4-10). Suurin lumensyvyys saavutetaan maaliskuun loppupuolella, jolloin lunta on 60-70 cm (1921-60). Loka-huhtikuun pakkassumma on 1400-1600 d°C (Solantie 1987a: 18-22).

Taulukko 1. Ilmastotietoja Kuhmon ja Suomussalmen säähavaintoasemilta 1989 (Kuukausikatsaus Suomen ilmastoon 1990).

	lt /°C	1931-60 /°C	Sadem./mm	1931-60/mm	kost./%	pilvisyys
Kuhmo	-	-	582	558		
Suomussalmi	1.6	1.0	571	569	81	73%

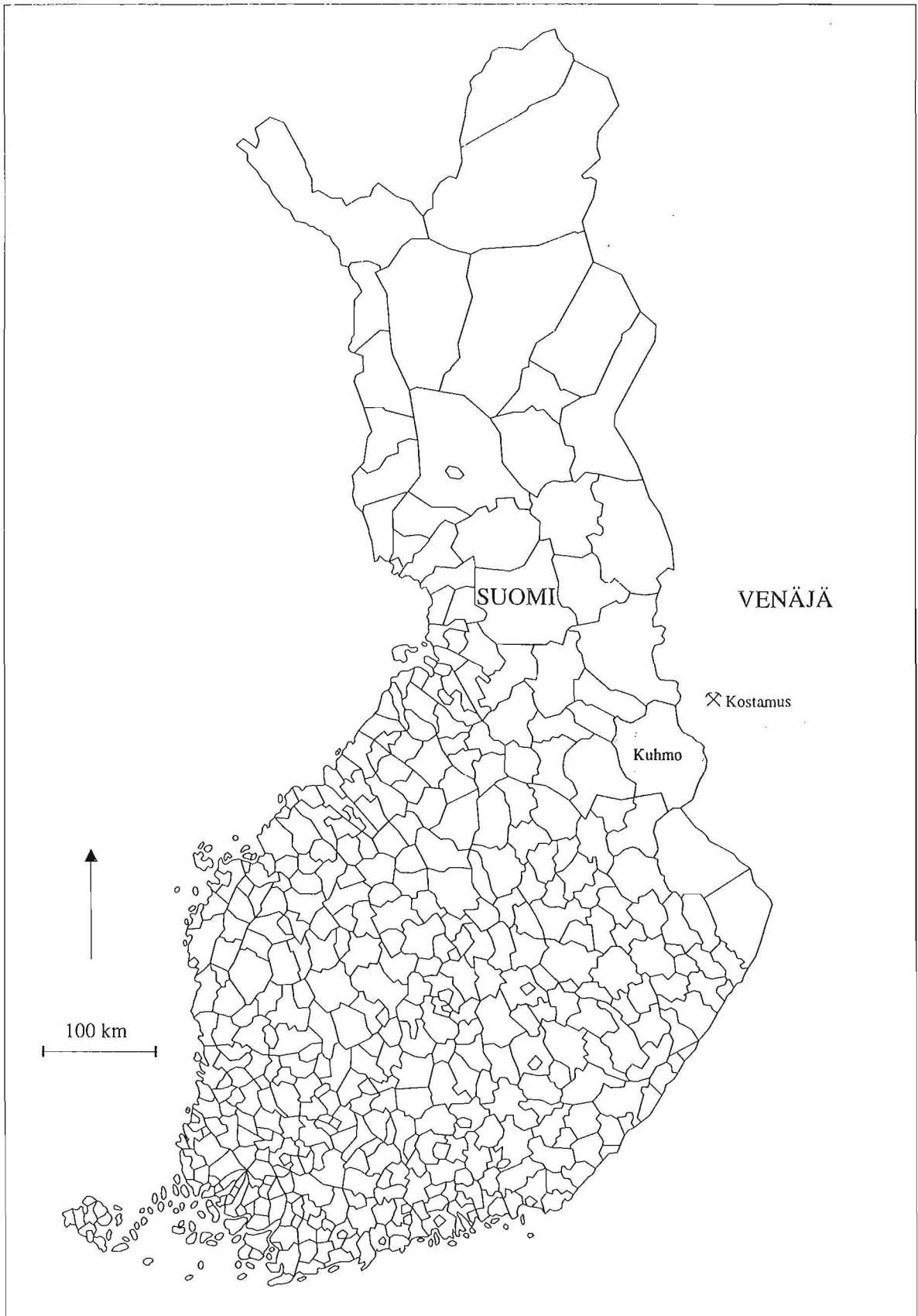
Kuhmon alueella vuotuinen sademäärä vaihtelee välillä 650-700 mm (Solantie 1987b: 18-22). Ilman suhteellinen kosteus on keskimäärin 78-80% (Solantie 1987a: 13-16), ja pilvisyys on 65-70% (Serkkula 1987b: 16). Vuotuinen ilmanpaine on puolestaan 1012-1013 mbar (Helminen 1987: 10). Tuulisuhteet ovat jakautuneet siten, että Kuhmon alueella tuulee eniten etelästä. Lounaan, lännen ja luoteen osuus on noin puolet etelästä. Kaikkein vähiten tuulee pohjoisesta, koillisesta ja idästä. Pohjoiset virtaukset ovat heikoimmillaan talvisin (Serkkula 1987a: 10-12).

Tutkimusalue kuuluu keskiboreaalisen Pohjanmaa-Kainuu -havumetsävyöhykkeen Kainuun osaan. Tämä vyöhyke on sijaintinsa takia hieman mantereisempi kuin Pohjanmaan alue, joka on mereisyys-mantereisuus -jaon suhteen neutraali. (Ahti et al. 1968: 188, 197). Koko vyöhyke on vaihtumisasiältä Etelä ja Pohjois-Suomen välillä. Täällä yleistyvät vähitellen esimerkiksi vaivaiskoivu, variksenmarja ja ruohokanukka. Vallitsevina suoyhdistymiä ovat Kuhmossa aapasuot ja etelämpänä keidassuot. Tutkimusalueen vaaramaastossa on usein rинnesoita. Liuskealueiden kasvillisuus on rehevää. Kuhmossa ovat tuoreet kangasmetsät vallitsevia, kun taas Pohjanmaan puolella ja koko muussa Suomessa ensimmäisellä tilalla ovat kuivahkot kankaat (Kalliola 1973). Yleisimmät metsätyypit ovat variksenmarja-puolukkatyyppi (EVT) ja puolukka-mustikkatyyppi (VMT). Muiden osuus on pieni. Kuivempia kanerva- (ECT) tai jäkälätyypin (CIT) metsiä on pienillä aloilla kallioiden ja harjujen rinteillä. Samoin lehtojen ja lehtomaisten kankaiden osuus on vähäinen. Lisäksi ne ovat usein kulttuurivaikutteisia tai liittyvät tulvavaikutteiseen joenvarsikasvillisuuteen (Hanhela & Vainio 1987:5).

Kuhmo kuuluu kymmenen naapurikuntansa ohella Kainuun metsälautakunnan piiriin. Kainuun alueella on mänty vallitsevin puulaji (taulukko 2). Sen osuus puulajeista on yli 10% suurempi kuin männyn osuus koko maan puulajijakaumasta. Kainuun alueen osuus Suomen puuston tilavuudesta on 9.3% ja osuus puuston vuotuisesta kasvusta on 4.7%. Kainuun osuudet Pohjois-Suomen puutilavuudesta ja puuston vuotuisesta kasvusta ovat 22.9% ja 21.8%.

Taulukko 2. Puutilavuudet lajeittain, ja niiden vuotuinen kasvu (milj. m³) Kainuun metsälautakunnan alueella ja koko maassa 1977-1984 (Metsätaloudellinen vuosikirja 1989: 65, 83).

	Tilavuudet			
	Mänty	Kuusi	Lehtipuut	Yhteensä
Kainuu	62.1 (55.4%)	33.5 (29.4%)	16.4 (14.6%)	112.0
Koko maa	745.6 (44.9%)	612.7 (36.9%)	301.7 (18.2%)	1160
Kasvu/vuosi				
Mänty				
Kainuu	1.77 (53.8%)	0.77 (23.4%)	0.78 (22.8%)	3.29
Koko maa	27.45 (40.1%)	35.05 (36.6%)	15.88 (23.2%)	68.38



Kuva 1. Tutkimusalue

Tutkimusalue on osa Itä-Suomen, Iisalmen ja Koillispohjan graniittigneissikompleksia, joka sisältää erityisesti piihapporikkaita gneissejä. Graniittigneissit ovat vahvasti suuntautuneita ja ruhjoutuneita, tavallisesti kvartsidioriiitteja tai granodioriiitteja. Itä-Suomen graniittigneissialue, johon Kuhmokin kuuluu, on osa laajasta liuskejaksojen reunustamasta vyöhykkeestä, joka ulottuu Venäjän puolelle. Tämän alueen vanhimmat kivilajit ovat graniittigneissin lävistämiä liuskeita, joita on kuitenkin vain pieninä esiintyminä (Rankama 1964:52).

Tutkimusalueen länsiosissa on pohjois-etelä -suuntainen Kuhmon vihreäkivialue, joka on noin 200 km pitkä ja 3-5 km leveä. Vihreäkivialueen ympäristö koostuu edellämainituista granitoidisista kivilajeista. Itse vihreäkivivyöhyke koostuu ensisijaisesti metavulkaniiteista, joiden koostumus vaihtelee felsisestä maafiseen. Niiden osuus on 1/4-1/3 koko vihreäkivivyöhykkeestä. Muita tärkeitä kivilajeja ovat maafiset ja ultramaafiset intrusiivit (Saarnisto ja Taipale 1984:323).

Kuhmon alueen maaperä koostuu pääasiassa moreenista, joka peittää kallioperää muutamien metrin paksuisena kerroksena (Saarnisto ja Taipale 1984:324). Moreenimaita halkovat pääasiassa luode-kaakko -suuntaiset glasifluviallisesta materiaalista koostuvat harjujaksot. Kuhmon keskustan luoteispuolella ja siitä länteen sijaitsevan Ontojärven pohjoispuolella on laajoja glasifluviallisia deltamuodostumia.

Tutkimusalue jakautuu kahteen suuralueeseen, jotka ovat Itä-Suomen drumliini- ja harjualue ja Karelidien vaara-alue (Seppälä 1986:17). Näiden suuralueiden välinen raja kulkee kaakko-luode -suuntaisena Kuhmon keskustan itäpuolelta. Itä-Suomen drumliini- ja harjualueelle on tyypillistä matalat kalliopinnat ja pieni korkeusvaihtelu. Drumliinit kuuluvat Kuhmon drumliinikenttään, jossa drumliinit esiintyvät niille tyypillisesti parvissa. Saman parven yksilöt muistuttavat kooltaan ja muodoltaan toisiaan (Kemiläinen 1988:5-6). Suuntaumattomia moreenikumpuja esiintyy vyöhykkeinä, jotka ovat samansuuntaisia niitä lähellä olevien harjujaksojen kanssa. Suurin kumpumoreenikenttä on Kellojärven ympäristössä Kuhmon keskustaajamasta luoteeseen (Saarnisto ja Peltoniemi 1984:168).

Karelidien vaara-alue on kalliotopografialtaan vaihteleva. Alueella esiintyy huomattavia korkeusvaihteluja. Lukuisat vaarat, jotka ovat usein kvartsiittikohoumia, ovat tyypillisiä tällä alueella. Mannerjäätikkö on antanut pienmuodoille luoteis-kaakko -suuntaisuuden, mikä ilmenee drumliineina, harjuina ja järvinä, joten maisemallinen erilaisuus edellyttää vyöhykkeeseen verrattuna on jokseenkin häilyvää (Seppälä 1986:17). Kuhmon vaara-alue liittyy läheisesti Karjalan liuskevyöhykkeeseen (Saarnisto ja Taipale 1984).

3 TUTKIMUSMENETELMÄT

3.1 Näytteenotto

Sammalnäytteet kerättiin kesällä 1990 Metsähallituksen Kuhmon hoitoalueen työllisyysvaroilla palkattujen 10 työntekijän toimesta. Kuhmon kunnan peruskarttalehdiltä kerättiin näytteitä $5 \cdot 5 \text{ km}^2$ kokoisilta alueilta (Kuva 2). Alueen jokaiselta yhtenäiskoordinaatiston neliökilometriruudulta kerättiin näytteitä mahdollisimman keskeltä ruutua. Näytteenotto keskitettiin kivennäismaiden metsiin (ei suometsiin). Tienvarsia, rantoja ja muita reunavyöhykkeitä vältettiin.

Näytteenottopaikalla ensimmäinen näytepaikka valittiin heittämällä näytteenottomeksi muutettu pohjaton muoviämpäri (pohjan halkaisija 19 cm) kulkusuunnassa eteenpäin. Paikalta, johon ämpäri jäi, otettiin näyte siten, että ämpäri painettiin sammalkerrosta vasten ja kunta leikattiin irti ämpärin reunaa vasten. Irti leikatun näytteen pinta-ala oli noin 283 cm². Sama toistettiin 10 cm päässä edellisestä ja leikatut kaksi näytettä asetettiin sammalpuolet vastakkain muovipussiin, joka merkattiin näytekoodilla. Toinen näytepari otettiin vastaavalla tavalla kulkusuunnassa 10 metrin päässä edellisestä parista. Kolmas näytepari otettiin 10 metrin päässä toisesta näytteenottopisteestä kulkusuunnassa 90° vasemmalle. Tarvittaessa näytteenottopaikkaa siirrettiin siten, että näytteitä ei otettu puiden latvusten alta. Näytteenotossa käytettiin muovisia kertakäyttökärsineitä. Jokaisesta kuudesta näytepaikasta mitattiin viivottimella kunnan paksuus sammalkerroksen pinnasta aina harmaaseen mineraalimaahan asti. Tällä tavoin kerättiin kaikkiaan noin 4200 näyteparia. Lisäksi elokuussa 1991 suomalaiset tutkijat keräsivät 9 näyteparia Venäjän puolelta Kostamukseen johtavan tien varrelta, vähintään 200 metrin päässä tiestä.

Näytteenottopaikoilta merkittiin taustatiedoiksi kasvupaikkatyyppi, valtapuusto, kehitysluokka, sekä mahdolliset metsätaloustoimenpiteet, ja niistä kulunut aika. Puuston pohjapinta-alat määritettiin relaskoopilla. Puuston kehitys jaettiin luokkiin: AO = avoimet alueet, SO = siemenpuumetsiköt, T, T1, T2 = eri ikäiset tamikot, YL = ylispuustoiset taimikot, O2 = nuoret kasvatusmetsiköt, O3 = varttuneet kasvatusmetsiköt, O4 = uudistuskypsät metsiköt ja O6 = vajaatuottoiset metsiköt (Tapion taskukirja 1986:354-355). Osalta näytteenottopaikoista kirjattiin lisäksi näytteen sijainti puuston latvukseen nähden. Näytteiden ottopaikoilta merkittiin muistiin myös naavojen runsaus ja otettiin naavanäytteitä ympäröivien kuusien oksilta. Naavanäytteitä käytetään muissa tutkimuksissa.

Sammalnäytteistä erotettiin laboratoriossa kerrossammalet, joiden lukumäärä kussakin näytteessä laskettiin. Kerrossammalista leikattiin erilleen vuoden 1989 vuosikasvaimet, jotka laitettiin valkaisemattomasta paperista valmistettuihin pusseihin kuivumaan 50 °C lämpötilaan. Näytteiden kuivuttua ne punnittiin ja varastoitiin paperipusseissa kuivavarastoon.

3.2 Laboratoriotyöt

Laboratoriotyöt suoritettiin vuosien 1991-1992 vaihteessa. Esikäsittelyt tehtiin vesi- ja ympäristöhallituksen laboratoriotiloissa Helsingissä ja analyysit Helsingin yliopiston kasvitieteen laitoksen terrestrisen ekologian laboratoriossa.

Tutkimukseen otettiin otos näytteitä siten, että kunkin peruskarttalehden alueelta pyrittiin valitsemaan 3-4 näytettä, joiden massa oli vähintään 1 g/näyte. Osalla peruskarttalehdistä jouduttiin tyytymään 1-2 näytteeseen, joiden massa oli < 1 g.

Sammalnäytteet jauhettiin koneellisella agaattihuhmareella, joka pestiin jokaisen jauhatuksen jälkeen ionivaihdetulla ja tislattulla vedellä. Jauhatuksen jälkeen näytteitä kuivattiin 40 °C lämpötilassa.

Kuivattua näytettä punnittiin 1.0-1.5 g Tecator-putkeen. Koodien mukaan aakos- ja numerojärjestykseen järjestetyistä näytteistä joka kymmenennestä tehtiin rinnakkaisnäyte. Mikäli kyseistä näytettä ei ollut riittävästi kahden polttoon, valittiin lähin näyte, jossa oli tarpeeksi materiaalia. Jokaiseen keittoerään lisättiin referenssi- ja nollanäyte. Referenssinä käytettiin Ahti Mäkisen Helsingin yliopiston kasvitieteen laitoksella valmistamaa referenssimateriaalia. Näytteen punnituksen jälkeen Tecator-putkiin lisättiin 10 ml väkevää typpihappoa (HNO_3 , p.a. 37 %) (Mäkinen 1989:8-9) ja annettiin näytehappo -seoksen hautua yön yli. Seuraavan aamuna happoa lisättiin 10 ml ja odotettiin kunnes kuohuminen lakkasi. Kuohumisen loputtua Tecator-putket suljettiin kevyesti kansilla ja putkia ryhdyttiin lämmittämään varovasti Inferno-märkäpolttolaitteella, kunnes seos rupeesi kiehumään hiljaa. Tällöin liuoksen lämpötila oli noin 125 °C, ja tässä lämpötilassa näytteiden annettiin kiehua iltapäivästä seuraavaan aamuun, jolloin näyteliuokset olivat kirkkaita. Tämän jälkeen näytteitä lämmitettiin ilman kansia, kunnes liuostilavuus haihtui puoleen.

Osa näytteistä märkäpoltettiin CEM MDS-81D -mikroaaltouunilla. Puhtaaseen ja kuivaan teflonastiaan punnittiin enintään 1/2 g homogenisoitua sammalnäytettä ja lisättiin 15 ml väkevää typpihappoa (HNO_3 , p.a. 37 %) (Mäkinen 1992). Astiat suljettiin ja kannet kiristettiin momenttiavaimella, jotta ne eivät paineen alaisina vuotaisi. Nolla- ja referenssinäytteet lisättiin kuten edellä. Uunissa näytteitä säteilytettiin 12 kpl erissä 4 min täydellä säteilyteholla ja 8 min puolella teholla. Polton jälkeen näyteliuosten annettiin jäähtyä, minkä jälkeen ne suodatettiin Whatman 40 suodattimien lävitse 50 ml mittapulloihin, mihin tilavuuteen näytteet laimennettiin ionivaihdetulla ja tislattulla vedellä. Laimennetut näytteet varastoitiin happopestyihin polyeteenipulloihin. Tällä tavoin analysoitiin kaikkiaan 230 näytettä, joista 18 on rinnakkaisnäytettä.

Laimennetuista näytteistä määritettiin Cd-, Cu-, Fe-, Mn-, Ni- ja Zn-pitoisuudet Varian Techtron AA 1200 atomiabsorptiospektrofotometrillä ilma-asetyleenilielillä. Määrittäjä varten valmistettiin vastaavat standardisarjat 1000 ppm:n kantaliuoksista laimentaen ionivaihdetulla ja tislattulla vedellä ja typpihapolla. Näytteen sisältämän metallin pitoisuus laskettiin kaavalla (Mäkinen 1989:11):

$$\text{Ca(K, P,...)}_{\text{tot}} = (V \cdot L \cdot K) / G \text{ (}\mu\text{g/g)} \quad (1)$$

V = liuoksen kokonaistilavuus ml

L = laimennuskerroin

K = vakauskäyrältä luettu liuoksen konsentraatio

G = näytteen kuivapaino g

Mikäli polttoerän nollanäytteen pitoisuus oli nolasta poikkeava, vähennettiin kyseinen pitoisuus kaikista saman polttoerän näytteiden liuoksista mitatuista pitoisuuksista.

3.3 Tulosten käsittely

Lasketut absoluuttiset pitoisuudet talletettiin tietokoneella Excel 3.0 taulukko-ohjelmalla, ja tiedot siirrettiin CorelDRAW 2.01 ja 3.0 -piirto-ohjelmilla Kuhmon kuntaa esittävälle karttapohjalle. Absoluuttisista pitoisuuksista laskettiin myös vuosikasvainten sisältämät pitoisuudet seuraavasti: näytteen totaaliainemäärästä jaettiin versojen lukumäärällä ja näin saatiin vuosikasvaimen keskimääräinen massa. Vuosikasvaimen massaa tarvittiin arvioitaessa metallilaskeuman vaikutusta sammalten kasvuun

Alueellisen tarkastelun lisäksi aineistoa käsiteltiin tilastomatematisesti sisäisten riippuvuussuhteiden selvittämiseksi. Tutkimusaineistosta laskettiin seuraavat korrelaatiot vuosikasvaimen massa metallipitoisuudet, metallipitoisuudet metallipitoisuudet ja metallipitoisuudet etäisyys Kuhmosta ja Kostamuksesta. Vuosikasvaimen massan riippuvuus metallipitoisuuksista selvittää, onko jonkin metallin pitoisuus niin korkea, että se haittaa sammalten kasvua. Metallien väliset korrelaatiot kertovat samankaltaisesta sitoutumistavasta. Metallipitoisuuksien korrelaatiot etäisyyksien kanssa selvittävät, ovatko päästöt mahdollisesti peräisin pistemäisistä lähteistä, kuten Kostamuksesta tai Kuhmosta. Absoluuttisista metallipitoisuuksista suoritettiin lisäksi pääkomponenttiansalyysi, jolla selvitettiin, onko aineistossa joitakin metalleja, joiden vaihtelusta muiden metallien pitoisuudet riippuvat. Samalla selvitettiin, onko aineistossa joitakin pitoisuuspiikkejä, jotka poikkeavat selvästi muusta laskeumasta. Riippuvuusanalyysit tehtiin Statgraphics 5.0 -tilasto-ohjelmalla.

Jotta kasvupaikkatekijöiden, tässä tapauksessa metsän kehitysasteen, vaikutus vuosikasvainversion metallipitoisuuksiin ja version massa selväisi, jaettiin näytteet näytteenottopaikan metsän kehitysluokan mukaisiin luokkiin. Kunkin luokan pitoisuuksien keskiarvoja verrattiin toisiinsa varianssianalyysillä, jolla selvitettiin, poikkeavatko pitoisuuksien keskiarvot merkittävästi eri metsän kehitysluokissa. Mikäli pitoisuuksien keskiarvojen erot olivat merkittäviä, jatkettiin analyysiä Student-Newman-Keuls -testillä, jolla selvitettiin, mitkä ryhmät poikkeavat merkittävästi toisistaan. Laskutoimitukset suoritettiin Excel 3.0 taulukko-ohjelmalla ja käsin. Käytetyt kaavat ovat (Mäkinen 1978: 83, 87):

Sisävaihtelu (2)

$$NS_{sisä} = NS_a + NS_b + \dots$$

Kokonaisvaihtelu (kaikki yhtenä kokonaisuutena) (3)

$$\begin{aligned} x_i &= x_a + x_b + \dots \\ TNS &= TNS_a + TNS_b + \dots \\ VJ &= (x_i)^2 / n_{tot} \\ NS_{kokonais} &= TNS - VJ \end{aligned}$$

Välvaihtelu (4)

$$NS_{väli} = NS_{kokonais} - NS_{sisä}$$

Vaihtelutaulukko (5)

Vaihtelu	Df (vapausasteet)	NS	s2(varianssi)
Kokonaisvaihtelu		NS _{kok}	
Välvaihtelu		NS _{väli}	NS / Df
Sisävaihtelu		NS _{sisä}	NS / Df

Varianssisuhde (6)

$$F = \text{välvaihtelun varianssi} / \text{sisävaihtelun varianssi} = s2_{väli} / s2_{sisä}.$$

n_a = näytteiden lkm luokassa
 $\bar{x} = x_i / n$, keskiarvo
 $VJ = (x_i)^2 / n$, vähennysjäsen

n_{tot} = näytteiden totaaliäärä
 TNS = tilapäisneliösumma
 NS = $TNS - VJ$, neliösumma

Saatua lukuarvoa verrattiin varianssisuhdetaulukoiden sisä -ja välivaihteluiden osoittamien vapausasteiden viitearvoihin, ja pääteltiin olivatko lasketut varianssisuhteet kyseisellä riskitasolla merkittäviä.

Mikäli varianssianalyysi osoitti ryhmien välillä olevan merkittäviä eroja, jatkettiin Student-Newman-Keuls -testillä. Keskiarvot järjestettiin suuruusjärjestykseen ja laskettiin D-arvot erikseen vierekkäisille keskiarvoille ja erikseen niille, jotka ovat yhden, kahden tai useamman keskiarvon erottamia. Laskuun käytetty kaava on muotoa:

$$D = Q \cdot \sqrt{s_1^2} \cdot \sqrt{(n_1 + n_2) / (2 \cdot n_1 \cdot n_2)} \quad (7)$$

Q = luetaan keskiarvotestin 5%:n Q-taulukosta sarakkeesta L=2, jos keskiarvot ovat vierekkäisiä, sarakkeesta K=3, jos ne ovat kahden keskiarvon erottamia jne. s_1 on sisävaihtelun varianssi ja n_1 ja n_2 ovat ryhmässä olevien havaintojen lukumäärät. Keskiarvot vähennetään toisistaan ja saatua lukuarvoa verrataan vastaavan parin D-arvoon ja mikäli erotus on D-arvoa suurempi on keskiarvojen erotus merkitsevä 5%:n riskillä.

3.4 Analyysien luotettavuus

Analyysien luotettavuutta voidaan arvioida vertailemalla jokaiseen polttoerään lisätystä referenssimateriaalista mitattuja metallipitoisuuksia niiden viitearvoihin (taulukko 3). Poltot I-VIII on suoritettu Tecator-putkissa Inferno-märkäpolttolaitteella, poltot IX-X CEM MDS-81D -mikroaaltouunilla. ICP -viitearvot (Mäkinen 1992) eivät ole täysin vertailukelpoisia analyysitulosten kanssa, mutta suuruusluokat ovat kuitenkin samat. Cd- ja Cu-pitoisuudet ovat analyyseissä jokseenkin samalla tasolla kuin viitearvot. Fe- ja Zn -pitoisuudet ovat analyyseissä suuremmat ja Ni-pitoisuudet hieman pienemmät kuin ICP -viitearvot. Mn-viitearvoja ei valitettavasti ollut saatavilla.

Taulukko 3. Referenssiaineksen metallipitoisuudet eri polttoerissä (Pitoisuudet µg/g kuiva-aineessa).

Polttoerä	Cd	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
I	0,08	1,3	103	70	4,7	12
II	0,1	0,5	109	80	4,1	13
II	0,11	1,3	111	75	3,2	15
IV	0,1	1,3	112	75	2,3	13
V	0,07	0,9	108	75	2,4	14
VI	0,09	0,1	102	70	3,8	12
VII	0,23	1	102	75	3,7	13
VIII	0,13	0,9	102	85	2,6	13
IX	0,03	2,8	96	66	3,3	10
X	0,03	1,6	80	68	3,2	11
Keskiarvo	0,1	1,2	102,5	73,9	3,3	12,6
Keskipoikkeama	0,05	0,68	8,9	5,4	0,72	1,4
Min	0,03	0,1	80	66	2,3	10
Max	0,23	2,8	112	85	4,7	15
Vaihtelu	0,2	2,7	32	19	2,4	5
Viitearvot (ICP)	0,06-0,09	1,38-1,54	72-89		6,3-6,8	10,6-11,2

Absoluuttisia pitoisuuksia tärkeämpää on kuitenkin pitoisuuksien pysytteleväminen samalla tasolla poltosta toiseen. Poltoissa I-VIII referenssiaineksen metallipitoisuudet pysyttelevät samalla tasolla. Mikroaaltouunipolttojen IX-X referenssien metallipitoisuudet näyttävät olevan hieman pienempiä kuin perinteisellä märkäpoltolla tehdyissä erissä. Tämä saattaa aiheutua liian lyhyestä hajoitusajasta mikroaaltouunikäsittelyssä. Selvimmin ero näkyy Cd-, Fe- ja Mn -pitoisuuksissa. Cu:n kohdalla polton IX korkea referensipitoisuus saattaa aiheutua puutteellisen pesun aiheuttamasta kontaminaatiosta. Koska mikroaaltouunikäsittelyllä käsiteltiin vain 8% näytteistä, ei mahdollinen esikäsittelymenetelmän aiheuttama saannon pienentyminen aiheuta aineistossa suuria vääristymiä. Referenssiaineen pitoisuuksien perusteella arvioiden voidaan väittää, että analyysitulokset ovat mittausteknisesti luotettavia.

4 TULOKSET

4.1 Absoluuttiset metallipitoisuudet

Vertailu osoittaa, että Kuhmon kadmium-, kupari-, nikkeli-, rauta- ja sinkkipitoisuuksien keskiarvot (taulukko 4.) ovat selvästi alle koko maan keskiarvojen (taulukko 5.), ja niiden vaihteluvälit sijoittuvat valtakunnallisen vaihteluvälin alapäähän, ja osin sen alle.

Taulukko 4. Sammalnäytteiden metallipitoisuudet (pitoisuudet µg/g kuiva-aineessa).

	Cd	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
Otoksen koko	216	230	228	230	228	230
Keskiarvo	0,26	4,16	171,5	370,6	4,40	25,24
Keskipoikkeama	0,22	1,64	47,9	122,1	2,12	5,97
Min	0,01	1	67,2	154	0,1	14,3
Max	1,1	13,9	340,2	830	19,6	53,1
Vaihtelu	1,09	12,9	273	685	19,5	38,8

Taulukko 5. Cd, Cu, Fe, Ni ja Zn -pitoisuuksien (µg/g) keskiarvot ja vaihteluvälit Suomessa (Kubin & Issakainen 1992).

	Cd	Cu	Fe	Ni	Zn
Keskiarvo	0,3	6,9	458	5,6	40
Vaihteluväli	0,04-2,21	1,7-273,3	95-3280	1,5-69,4	20-161

Mangaanipitoisuuksista vastaavat tiedot sammalista puuttuvat, mutta kerrossammalen sekä nuoret että vanhat vuosikasvaimet absorboivat mangaania tehokkaasti (Tamm 1953; Rühling ja Tyler 1970).

Kostamuksen metallirikastamon välittömässä läheisyydessä (0.5-2 km) rauta- ja nikkelipitoisuudet ovat moninkertaiset verrattuna Kuhmon näytteistä mitattuihin pitoisuuksiin. Sen sijaan Cd- ja Mn-pitoisuudet sekä kaikkien metallien pitoisuudet 5-9 km:n etäisyydellä rikastamosta ovat samalla tasolla kuin Kuhmon näytteiden pitoisuudet (Kravtshenko 1992).

4.2 Absoluuttisten metallipitoisuuksien vaihtelu Kuhmon alueella

Kadmiumpitoisuuksien alueellinen vaihtelu on suurta (Kuva 2). Saman peruskarttalehden alueella voivat pitoisuudet jakautua neljään eri pitoisuusluokkaan. Jakaumasta erottuu Kuhmon pohjoisosissa viiden peruskarttalehden muodostama vyöhyke, jolla pitoisuudet ovat yli 0.31 ppm. Vastaava vyöhyke on rajan pinnassa keskustasta koilliseen alueella missä kahden peruskarttalehden alueella pitoisuudet ovat yli 0.41 ppm. Pienempiä yhden peruskarttalehden muodostamia korkean pitoisuuden vyöhykkeitä on keskustasta 20 km itään ja 30 km luoteeseen alueilla. Valtaosa pitoisuuksista on luokissa ≤ 0.3 ppm.

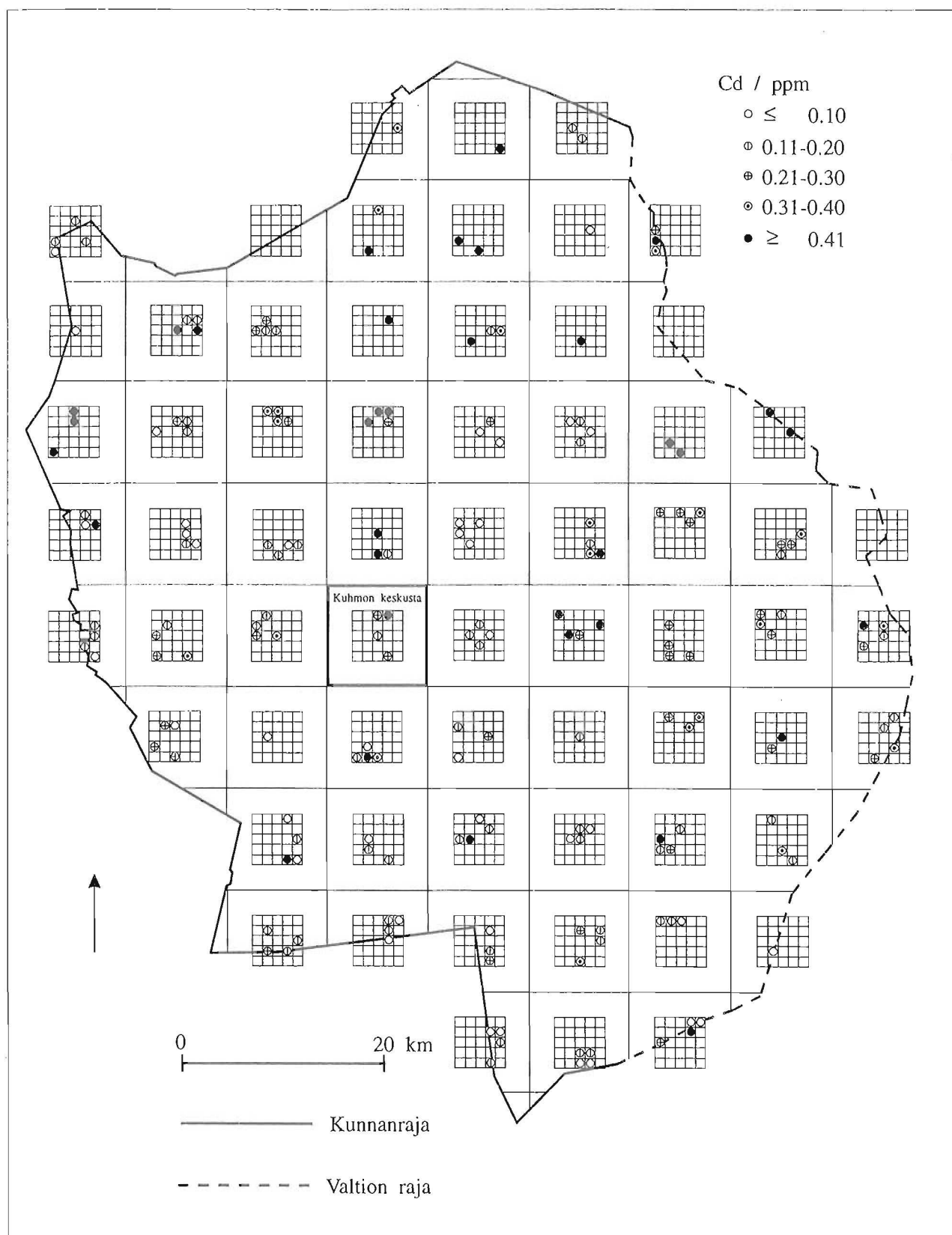
Kuparipitoisuuksissa on selvää alueellista vaihtelua (Kuva 3). Kunnan pohjoisosissa on kadmiumin tavoin viiden peruskarttalehden alueella vyöhyke, jossa kuparipitoisuudet ovat järjestelmällisesti yli 4.1 ppm. Toinen alue on kunnan kaakkoisosassa sijaitseva koillis-lounas -suuntainen vyöhyke. Tällä vyöhykkeellä mitattiin absoluuttisesti korkeimmat kuparipitoisuudet, jotka olivat noin 14 ppm. Näiden lisäksi on paikallisia maksimialueita, kuten kunnan keskusta. Valtaosa pitoisuuksista asettuu luokkiin ≤ 4.0 ppm. Kunnan länsirajaa kohden pitoisuudet hieman pienenevät. Korkean pitoisuuden vyöhykkeet sijoittuvat kuparin osalta selvästi vähäjärvisille ja korkealla sijaitseville alueille. Samalla alueella on Kainuun vesi- ja ympäristöpiirin tutkimuksissa havaittu suurin hapan laskeuma Kuhmossa (Oikari 1993).

Rautapitoisuuksien vaihtelussa on vaikea nähdä mitään selvää alueellista järjestymistä (Kuva 4). Paikallisia maksimeja on Kuhmon keskustassa ja siitä pohjoiseen. Itärajan tuntumassa on myös korkeita pitoisuusarvoja. Kunnan kaakkoisosissa ei kuparin tavoin ole mitään korkean pitoisuuden vyöhykettä. Valtaosa tämän alueen pitoisuuksista kuuluu luokkaan 101-150 ppm ja 151-200 ppm. Vastaavasti kunnan alueelta ei kartografiassa tulkinnassa paljastu erityisiä pienen pitoisuuden alueita. Suurin osa havaintopisteiden rautapitoisuuksista kuuluu luokkiin ≤ 150 ppm.

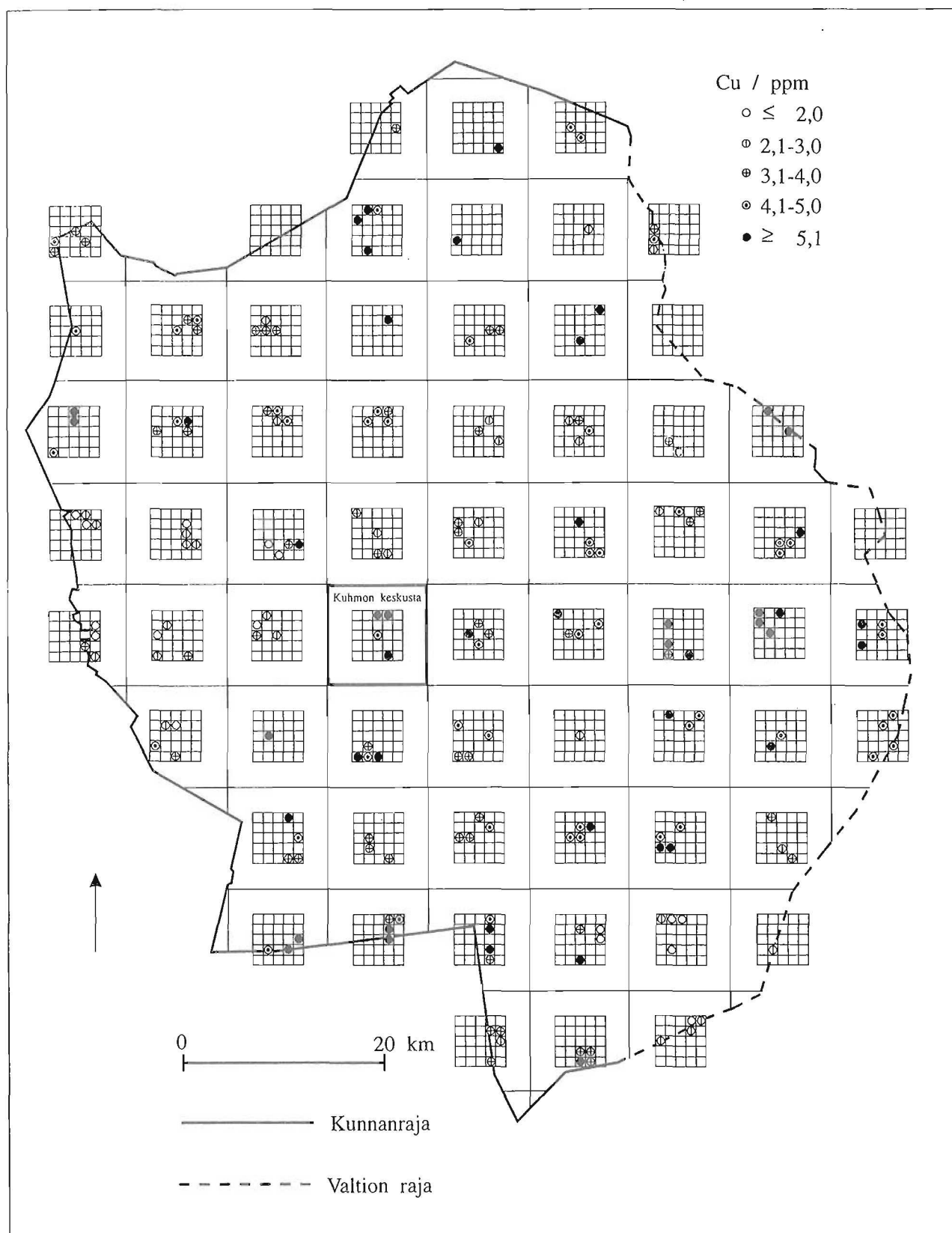
Mangaanipitoisuuksissa on useita pieniä maksimialueita, jotka ovat lähes kaikki tutkimusalueen itäisellä laidalla (Kuva 5). Aivan kunnan pohjoisosassa ovat pitoisuudet yli 551 ppm. Itärajan pinnassa ja Kuhmon keskustasta kaakkoon ovat pitoisuudet myös korkeita. Tämän lisäksi ympäri tutkimusaluetta on muutamia mangaanipitoisuuspiikkejä. Suurin osa pitoisuuksista on ≤ 350 ppm.

Nikkelipitoisuuksissa näkyy selvä keskittyminen Kuhmon keskustaan ja sen ympäristöön (Kuva 6). Kuhmon keskustan alueelta on mitattu korkeimmat nikkelipitoisuudet, jotka ovat noin 20 ppm. Tämä aiheutuu mitä ilmeisimmin keskustan alueella harjoitettavasta pienteollisuudesta. Muita korkeiden pitoisuuksien alueita on keskustan etelä-, pohjois- ja kaakkoispuolilla. Paikallisia maksimi-arvoja on tutkimusalueen itä- ja eteläosissa. Muuten suurin osa pitoisuuksista asettuu tasaisesti luokkiin ≤ 4.0 ppm.

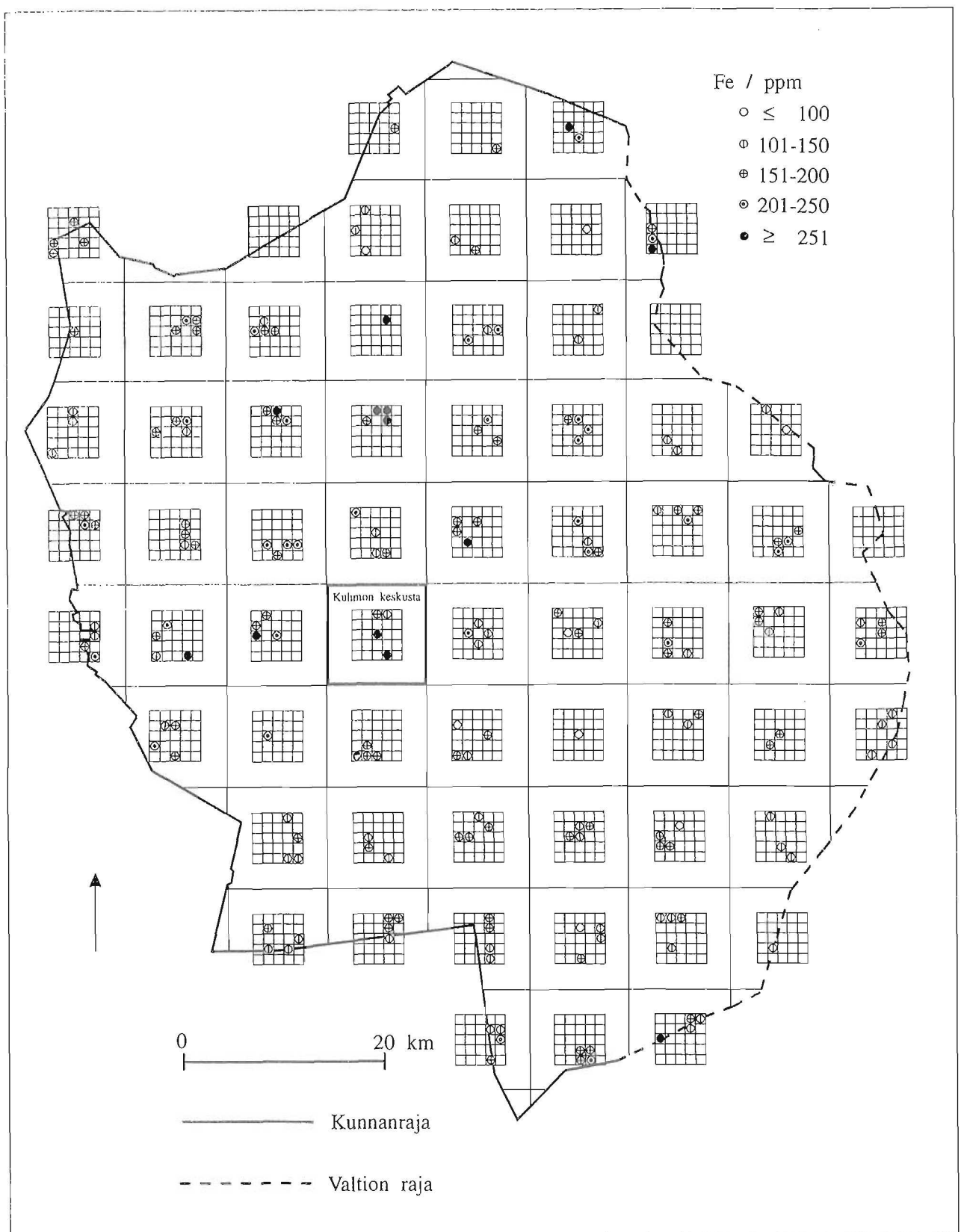
Sinkkipitoisuuksista vain muutama havainto sijoittuu kahteen ylimpään luokkaan, ja nämä havaintopisteet sijaitsevat keskusta-alueen itäpuolella (Kuva 7). Suurin osa havainnoista sijoittuu luokkiin ≤ 30 ppm. Karttatulkinnan perusteella tutkimusalueen pohjois- ja luoteisosien sinkkipitoisuudet ovat hieman pienempiä kuin eteläosien pitoisuudet.



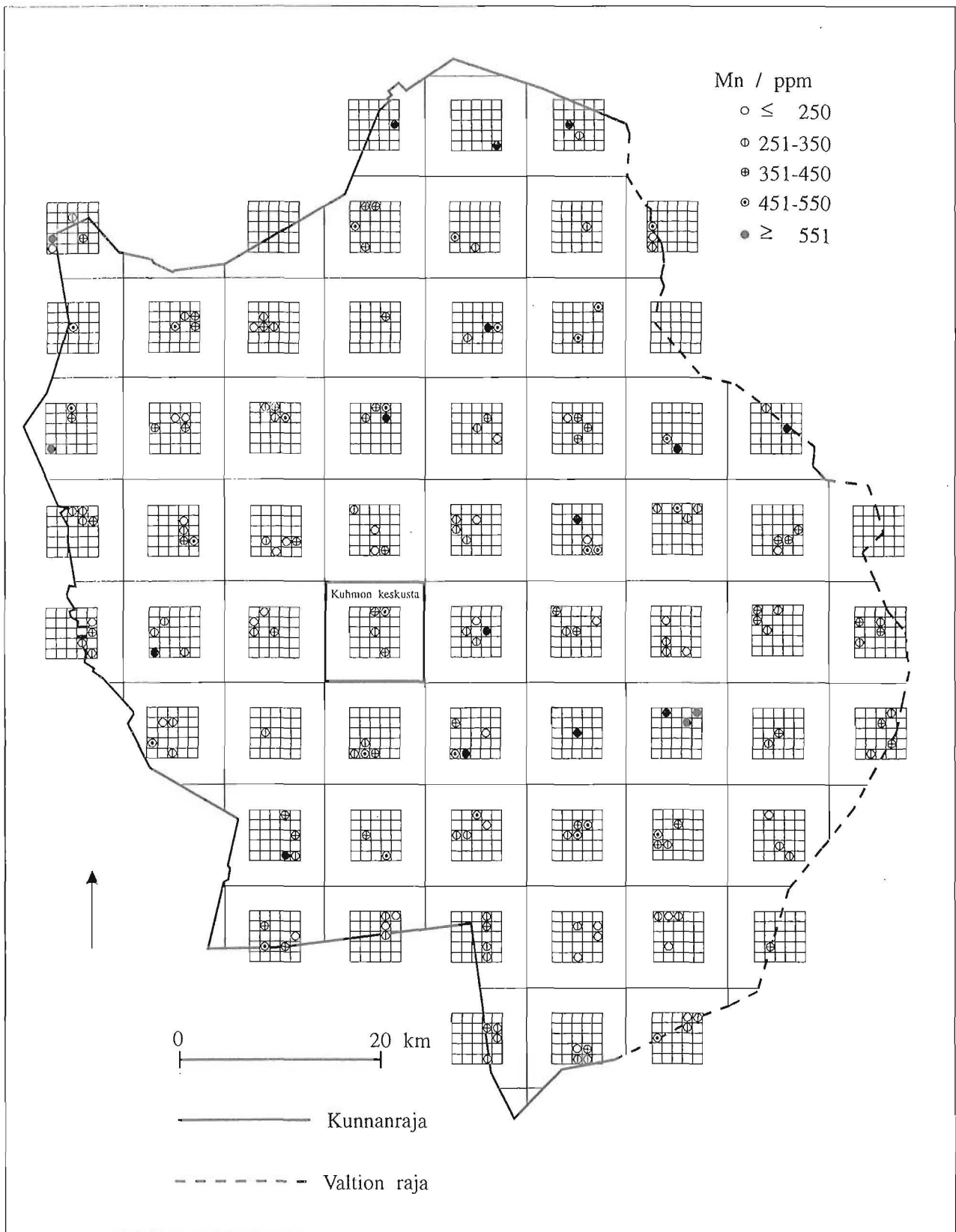
Kuva 2. Kadmiumpitoisuudet kerrossammalissa Kuhmossa 1989. Näytteitä otettiin karttaan merkittyjen neliökilometriruudukkojen jokaisesta ruudusta.



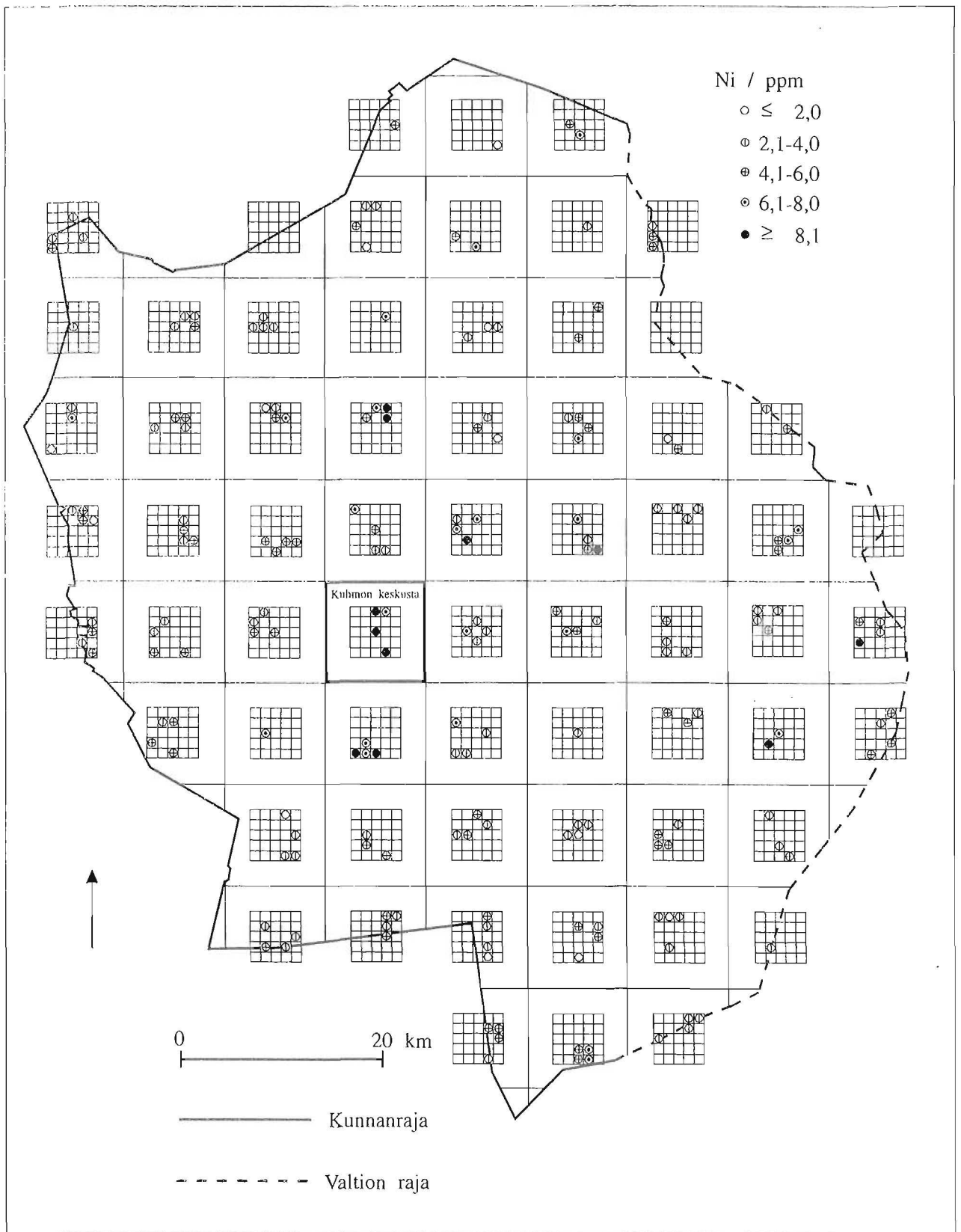
Kuva 3. Kuperipitoisuudet.



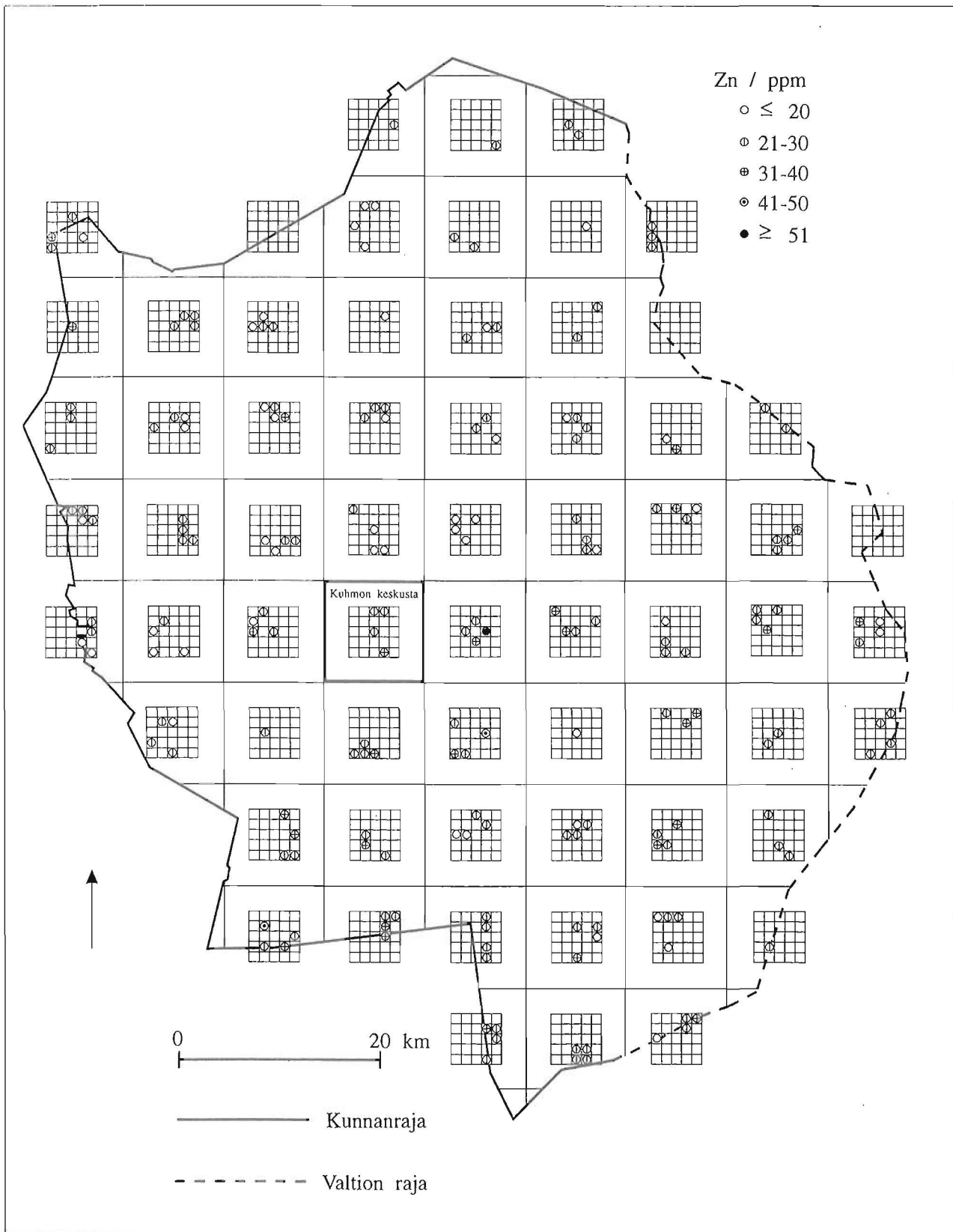
Kuva 4. Rautapitoisuudet.



Kuva 5. Mangaanipitoisuudet.



Kuva 6. Nikkelipitoisuudet.



Kuva 7. Sinkkipitoisuudet.

Karttatulkinnan perusteella on vaikeaa osoittaa jotakin selvää, tiettyyn pistemäiseen lähteeseen viittaavaa, alueellista jakautumaa metallipitoisuuksissa. Selvimmin aineistosta erottui Kuhmon keskustan vaikutus nikkelpitoisuuksien jakautumiseen. Myös kuparin kohdalla kävi ilmi tutkimusalueen kaakkoisosien lävitse kulkeva "korkeiden" pitoisuuksien vyöhyke, joka saattaa aiheutua samalla alueella havaitun tavallista runsaamman happaman laskeuman vaikutuksesta.

4.3 Absoluuttisten metallipitoisuuksien riippuvuussuhteet

Koska karttatulkinta ei osoittanut kovin selvää alueellista jakaumaa metallipitoisuuksissa jatkettiin tutkimusta tilastollisella käsittelyllä, jolla voidaan osoittaa metallipitoisuuksien erilaiset riippuvuussuhteet (taulukko 6).

Taulukko 6. Metallipitoisuuksista ja etäisyyksistä lasketut parittaiset Pearsonin korrelaatiokertoimet (***=riski 0.1%, **=riski 1%, *=riski 5%, °=riski 10%).

						Etäisyydet keskuksista	
	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn	Kuhmo	Kostamus
Cd	0.2875***	-	0.2640***	-	-	-	-0.3400***
Cu			0.2387***	0.1734**	0.3726***	-	-0.2977***
Fe			-	0.4082***	-	-0.1863**	-0.1243°
Mn				-	0.3465***	-	-0.1890**
Ni					-	0.2903***	-
Zn							-

Ekologisessa tutkimuksessa on vaikeaa löytää ilmiöitä, jotka eivät olisi jossakin riippuvuussuhteessa toistensa kanssa. Siksi korrelaatiomatriisiin (taulukko 6) antamiin tuloksiin on suhtauduttava kriittisesti, jotta ei tulkittaisi mahdollisia autokorrelaatioita todelliseksi korrelaatioiksi. Taulukkoon 7. on koottu korrelaatiopareja, jotka voivat aiheuttaa aineistossa autokorreloitumista.

Taulukko 7. Mahdolliset autokorrelotumiset. (+/-) = korrelaation etumerkki. Pari, joka on mahdollisesti aiheuttanut autokorrelaation on alleviivattu samalla tavoin.

Korrelaatio	Mahdollinen "autokorreloitumisväylä"
(+) Cd-Cu	(+) <u>Cd-Mn</u> , (+) <u>Cu-Mn</u> , (-) <u>Cd-Kostamus</u> , (-) <u>Cu-Kostamus</u>
(+) Cd-Mn	(+) <u>Cd-Mn</u> , (+) <u>Cu-Mn</u> , (-) <u>Cd-Kostamus</u> , (-) <u>Mn-Kostamus</u>
(+) Cu-Mn	(+) <u>Cd-Mn</u> , (+) <u>Cu-Mn</u> , (-) <u>Cd-Kostamus</u> , (-) <u>Mn-Kostamus</u>
(+) Cu-Ni	
(+) Cu-Zn	(+) <u>Cu-Ni</u> , (+) <u>Mn-Zn</u>
(+) Fe-Ni	(-) <u>Ni-Kuhmo</u> , (-) <u>Fe-Kostamus</u>
(+) Mn-Zn	(+) <u>Zn-Cu</u> , (+) <u>Cu-Mn</u>

Mitä useamman eri tekijän kautta korrelaatioparin osat voivat olla tekemisissään toistensa kanssa, sitä todennäköisempää on, että tulokset ovat autokorreloituneita. Korrelaatioparille Cu-Ni ei löytynyt kolmatta tekijää, jonka kanssa kummatkin korreloisivat,

koska rauta ja kupari eivät korreloi keskenään vaikka ne molemmat korreloivat etäisyyteen Kostamuksesta. Näiden metallien keskinäinen korrelaatio saattaa olla todellista; molemmat absorboituvat ja pidättyvät kerrossammaliin suunnilleen samalla tavalla (Rühling ja Tyler 1970).

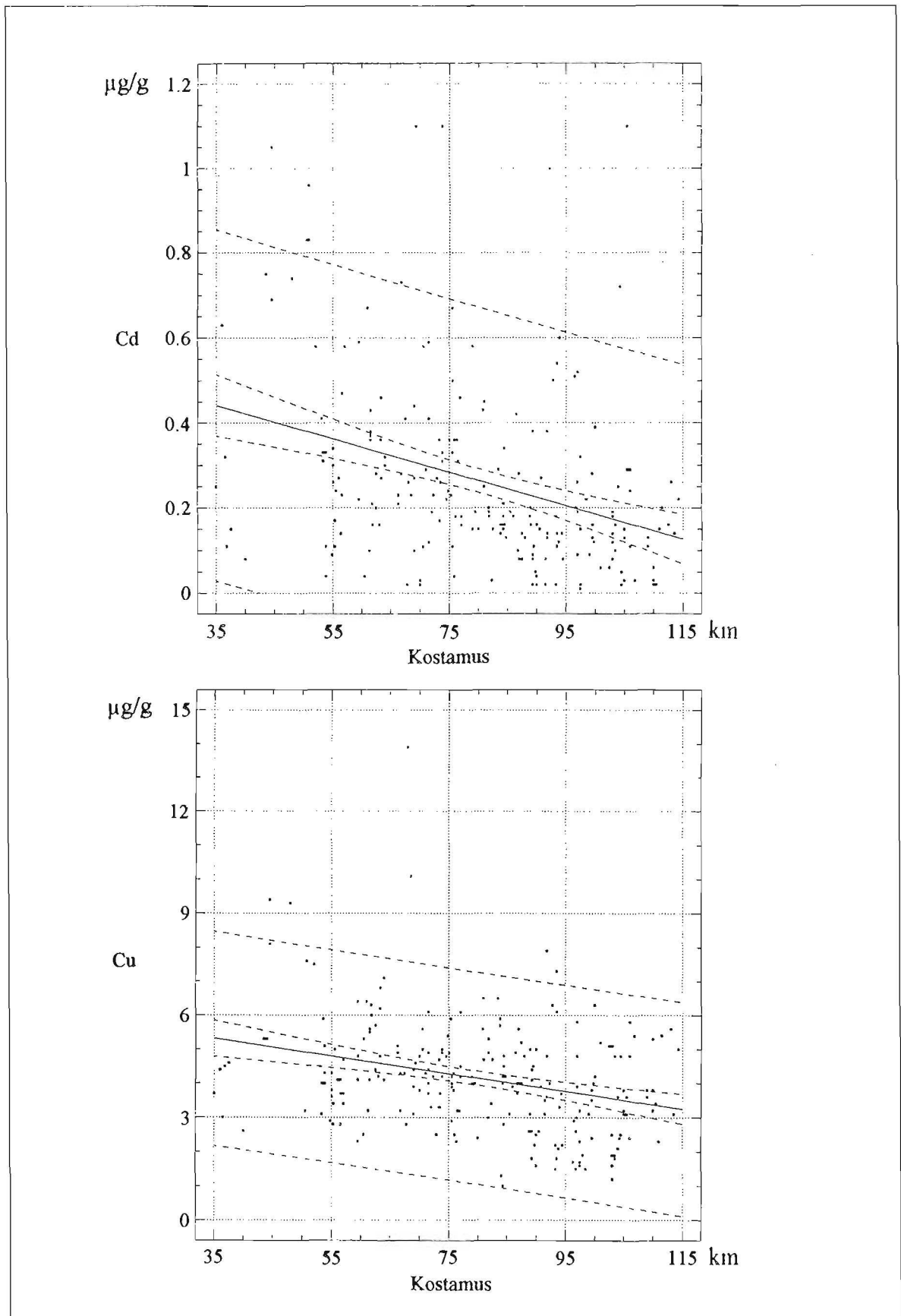
Koska havaintopaikkojen etäisyys Kuhmon keskustasta ja Kostamuksesta ei autokorreloi sammalmateriaalin metallipitoisuuksien kanssa, voidaan metallipitoisuuksien ja etäisyyksien korrelaatioiden katsoa olevan todellisia. Kadmium-, kupari-, mangaani- ja rautapitoisuudet korreloivat negatiivisesti etäisyyteen Kostamuksesta (Kuva 8.). Ensimmäisten kolmen korrelaatiot ovat tilastollisesti erittäin merkittäviä ja raudan korrelaatio on suuntaa-antava. Rauta korreloi lisäksi negatiivisesti merkittävästi etäisyyteen Kuhmosta, mihin etäisyyteen myös nikkeli korreloi samalla tavoin. Nämä korrelaatiot viittaavat pistemäisiin päästölähteisiin, jotka kattavat ainakin osan Kuhmon raskasmetallilaskeumasta. Kadmiumin, kuparin ja mangaanin lähteenä näyttää olevan Kostamus. Nikkelipäästöjä tulee Kuhmon keskustan alueelta, mihin kartatulkintakin viittasi, ja rautapäästöjä tulee sekä Kuhmon keskustasta, että Kostamuksesta. Vastaavan metallipitoisuuksien riippuvuuden etäisyydestä päästölähteestä ovat havainneet myös Hynninen (1986), Rinne ja Mäkinen (1988), Pilegaard (1979) ja Väisänen (1986). Sinkkilaskeuma näyttää olevan alueellista, eikä sille voi osoittaa mitään pistemäistä päästölähdettä tutkimusalueella.

Korrelaatioanalyysi paljasti, että kadmiumin, kuparin ja mangaanin absoluuttiset pitoisuudet ovat ainakin osittain riippuvia havaintopaikan etäisyyteen Kostamuksesta. Nikkelipitoisuudet ovat riippuvaisia etäisyydestä Kuhmon keskustaan ja rautapitoisuudet ovat riippuvaisia etäisyydestä kumpaankin päästölähteeseen. Korrelaatiokertoimet ovat kuitenkin suhteellisen alhaisia, mikä ainakin metallipitoisuuksien ja etäisyyksien kohdalla tarkoittaa sitä, että suuri osa metallilaskeumasta on alueellista, eikä Kuhmon keskustan ja Kostamuksen päästöjen osuus ole ratkaiseva.

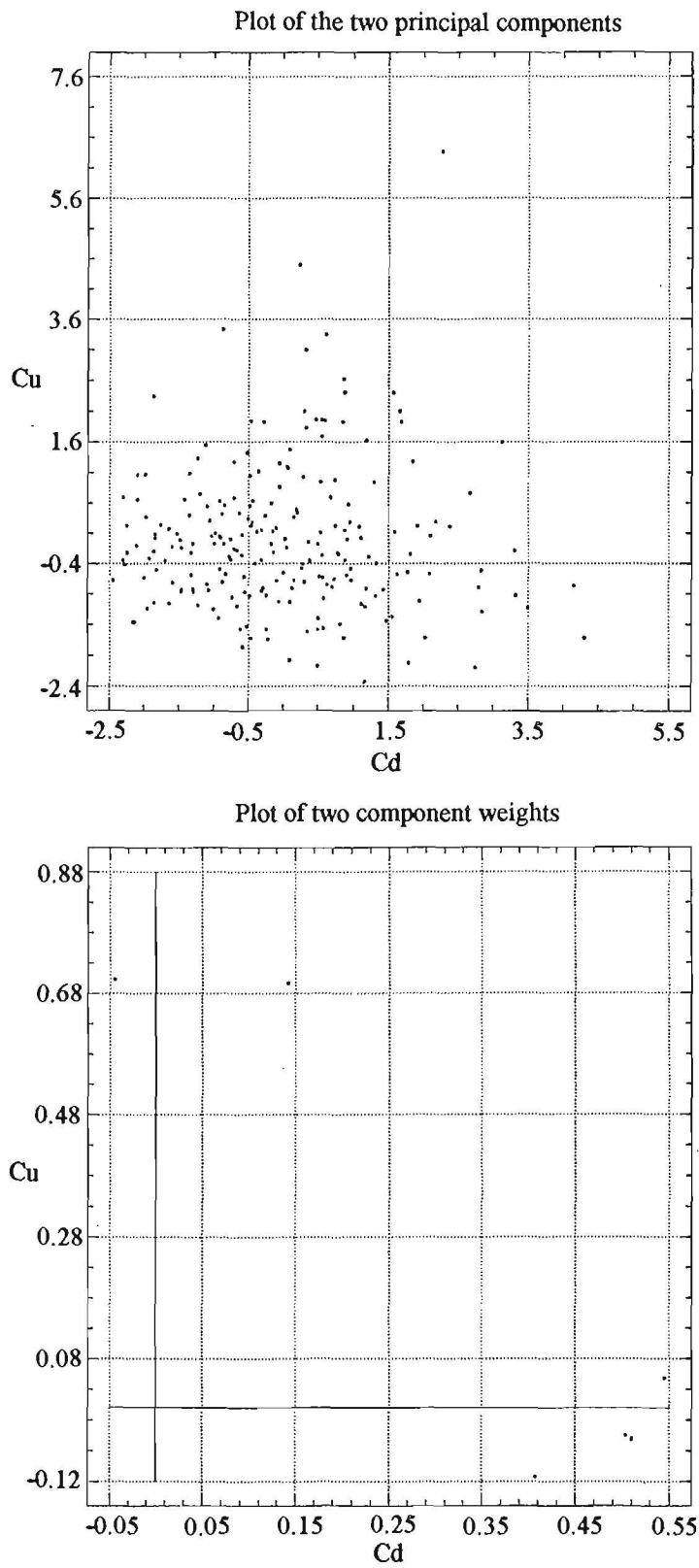
Absoluuttisista metallipitoisuuksista suoritettiin lisäksi pääkomponenttianalyysi (Taulukko 8). Taulukosta selviää, että $\Sigma\%$ ylittää 90% vasta viidennen muuttujan jälkeen. Toisaalta kadmiumin ja kuparin selittävyysprosentit ovat selvästi suuremmat kuin muiden; ne selittävät yhdessä yli 54% aineiston vaihtelusta. Analyysiä jatketaan kahdella ensimmäisellä muuttujalla. Kuvan 9 ensimmäisessä diagrammissa näiden muuttujien pistearvot on järjestetty koordinaatistoon, missä ne muodostavat järjestyttömän pistejoukon. Toisessa diagrammissa on järjestetty kahden ensimmäisen komponentin painoarvot, jotka eivät muodosta minkäänlaisia ryhmittymiä. Pääkomponenttianalyysin mukaan metallipitoisuudet eivät ryhmitä kahden tai useamman metallin muodostamiin kombinaatioihin, jotka osoittaisivat esimerkiksi metallien kulkeutumisen samassa "kantajapartikkelissa". Tämä oli tosin ennustettavissa jo korrelaatiokertoimien perusteella, koska ne eivät tilastollisesta merkitsevyydestään huolimatta olleet kovin vahvoja.

Taulukko 8. Metallien pääkomponenttianalyysin tulokset. Cd ja Cu ovat kaksi ensimmäistä komponenttia.

Muuttuja	Selittävyys %	Σ %
Cd	30,62	30,62
Cu	23,74	54,36
Fe	15,37	69,73
Mn	13,22	82,95
Ni	8,68	91,63
Zn	8,37	100



Kuva 8. Kadmium- ja kuparipitoisuuksien regressiot etäisyyteen Kostamuksesta.



Kuva 9. Metallien pääkomponenttianalyysin kahden ensimmäisen komponentin arvot ja painoarvot.

5 ULKOISTEN TEKIJÖIDEN VAIKUTUS KERROSSAMMALTEN KASVUUN

5.1 Absoluuttisten metallipitoisuuksien vaikutus kerrossammalten kasvuun

Tutkimusaineistosta määritettiin vuoden 1989 vuosikasvainversojen keskimääräiset massat (taulukko 9). Kuvan 10. karttapohjalla esitettynä on versomassojen vaihtelu Kuhmon alueella. Kartan perusteella ei versomassojen jakautumisessa ole mitään erityisempää alueellista vaihtelua. Kuhmon keskustan koillis- ja pohjoispuolella on joitakin alueita, joilla massat ovat hieman korkeampia, mutta ero muihin alueisiin verrattuna ei ole merkittävä. Tilastollisessa käsittelyssä laskettiin lineaariset Pearsonin korrelaatio-kertoimet versomassojen ja metallipitoisuuksien välille (taulukko 10).

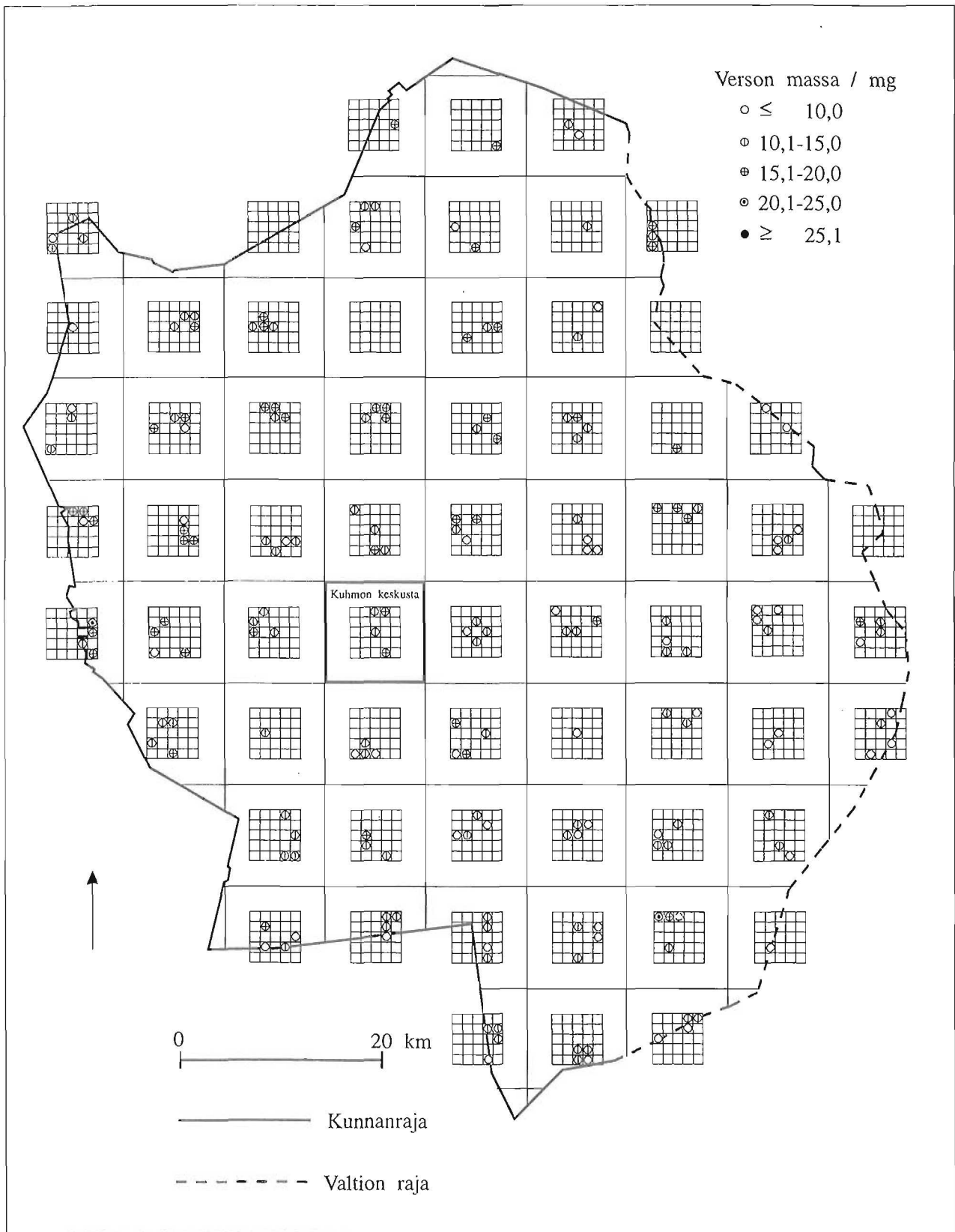
Taulukko 9. Vuosikasvainversojen kuivamassat (g)

Otoksen koko	230
Keskiarvo	0.0132
Keskipoikkeama	0.0128
Min	0.0061
Max	0.0250
Vaihtelu	0.0190

Taulukko 10. Verson keskimääräisen massan ja metallipitoisuuksien väliset korrelaatiot (riskitasot samat kuin taulukossa 6).

	Cd	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
Verso	-	-0.2497***	0.1635*	-	-	-0.1255

Korrelaatiomatriisissa verson keskimääräinen massa korreloi negatiivisesti merkittävästi kuparipitoisuuksien ja suuntaa-antavasti sinkkipitoisuuksien kanssa. Raudan kanssa verson massa korreloi puolestaan positiivisesti jokseenkin merkittävästi. Tulosten mukaan kupari- ja sinkkipitoisuudet ovat yhteydessä sammalten kasvua hidastaviin tekijöihin. Rautapitoisuuden kasvu puolestaan edistää sammalten kasvua. Muut metallipitoisuudet eivät juuri korreloi sammalten massan kanssa. Koska sammalista ei ole tämän kattavampaa analyysiä, on vaikea väittää, että kasvua hidastavat tai nopeuttavat tekijät aiheutuisivat suoranaisesti metallipitoisuuksista.



Kuva 10. Kerrossamalten nuorimman vuosikasvaimen keskimääräinen massa (mg) Kuhmossa 1989.

5.2 Metsän kehitysluokan vaikutus kerrossammalten kasvuun ja vuosikasvainversojen metallipitoisuuksiin

Jotta voitaisiin arvioida metsän kehitysluokan vaikutusta kerrossammalten kasvuun ja metallipitoisuuksiin, näytteet jaettiin näytepisteiden metsän kehitysluokan mukaisiin luokkiin (Taulukko 11).

Taulukko 11. Näytteiden jakautuminen eri metsän kehitysluokkiin.

Kehitysaste	Näytteiden lukumäärä
Siemenpuumetsiköt (SO)	2
Taimikot (T)	5
Taimikot (T1, T2)	2
Ylispuustoiset taimikot (Y1)	2
Nuoret kasv.mets. (02)	25
Varttuneet kasv.mets. (03)	81
Uudistuskypsät kasv. mets. (04)	111
Vajaatuottoiset metsiköt (06)	1

Kuten taulukosta käy ilmi, suurin osa näytteistä kuuluu metsän kehitysluokkiin nuoret, varttuneet tai uudistuskypsät kasvatusmetsiköt, muihin luokkiin kuuluu vain muutamia näytteistä. Koska luokissa siemenpuumetsiköt, taimikot, ylispuustoiset taimikot ja vajaatuottoiset metsiköt on vähän havaintoja, verrattiin keskenään vain luokkia nuoret, varttuneet ja uudistuskypsät metsiköt, jotta välttyttäisiin pienen otoksen aiheuttamilta virheiltilta (taulukko 12.).

Taulukko 12. Luokkien nuoret, varttuneet ja uudistuskypsät kasvatusmetsiköt näytteiden versojen metallipitoisuuksien ja versomassojen keskiarvot.

	Luokat		
	Nuoret kasv.mets.	Varttuneet kasv.mets.	Uudistuskypsät kasv.mets.
Cd (µg/g)	3.287E-3	3.320E-3	3.724E-3
Cu (µg/g)	4.377E-2	5.191E-2	5.607E-2
Fe (µg/g)	2.,352	2.373	2.219
Mn (µg/g)	4.490	4.670	4.90
Ni (µg/g)	5.886E-2	5.745E-2	5.667E-2
Zn (µg/g)	0.299	0.338	0.332
Verso (g)	1.196E-2	1.337E-2	1.326E-2

Taulukosta käy ilmi, että kadmium-, kupari- ja mangaanipitoisuuksien keskiarvot kasvavat metsän kehitystason mukaan. Rauta- ja sinkkipitoisuudet ja kerrossammalten versojen massat ovat suurimmillaan varttuneissa kasvatusmetsiköissä. Nikkelipitoisuuksien keskiarvot ovat suurimmillaan nuorissa kasvatusmetsiköissä ja ne pienenevät metsän kehitystason kasvaessa. Varianssianalyysi osoittaa, ovatko nämä erot tilastollisesti merkitseviä, eli poikkeavatko eri kehitystasetta edustavissa metsissä kasvavien kerrossammalten vuosikasvainversojen keskimääräiset raskasmetallipitoisuudet ja versojen keskimääräiset massat merkittävästi toisistaan. Taulukoissa 13. a) - g) on laskuissa tarvittavat vaihtelut ja varianssit

Taulukot 13 a)-g). Raskasmetallipitoisuuksien ja versomassojen vaihtelut ja varianssit

a)	Cd		
Vaihtelu	df	NS	s2
NSkokonais	216	2.116E-3	-
NSväli	2	0	0
NSsisä	214	2.116E-3	9.888E-6
b)	Cu		
Vaihtelu	df	NS	s2
NSkokonais	216	0.100908	-
NSväli	2	3.846E-3	1.923E-3
NSsisä	214	0.097062	4.5356E-4
c)	Fe		
Vaihtelu	df	NS	s2
NSkokonais	216	172.1997	-
NSväli	2	1.219	0.6095
NSsisä	214	170.9807	0.7989
d)	Mn		
Vaihtelu	df	NS	s2
NSkokonais	216	779.7124	-
NSväli	2	3.437	1.718
NSsisä	214	776.2756	3.627
e)	Ni		
Vaihtelu	df	NS	s2
NSkokonais	216	0.2313	-
NSväli	2	2E-4	1E-4
NSsisä	214	0.2311	1.079E-3
f)	Zn		
Vaihtelu	df	NS	s2
NSkokonais	216	2.217	-
NSväli	2	0.0222	0.0111
NSsisä	214	2.19522	0.0103
g)	Verso		
Vaihtelu	df	NS	s2
NSkokonais	216	2.245E-3	-
NSväli	2	4.048E-5	2.024E-5
NSsisä	214	2.205E-3	1.030E-5

Vaihtelutaulukoista lasketaan kaikille raskasmetalleille ja versomassoille väli- ja sisä-vaihteluiden varianssisuhde F. Varianssisuhteet ovat: Cd 0, Cu 4.24, Fe 0.76, Mn 0.47, Ni 0.09, Zn 1.08 ja versot 1.97. Vapausasteiden määräämä vertausluku on 5%:n riskitasolla noin 3.04. Vertailu osoittaa että kadmiumin, kuparin, raudan mangaanin, nikkelin, sinkin ja versojen varianssisuhteet ovat pienemmät kuin vertailuluku, mikä osoittaa, että testissä mukana olleilla metsän kehitysluokilla ei ole merkittävää vaikutusta pitoisuuksiin ja biomassan kasvuun. Kuparin varianssisuhde puolestaan on vertailulukua suurempi, joten 5%:n riskillä voidaan väittää, että metsän kehitystasolla on vaikutus

Kuparipitoisuuksien keskiarvot järjestetään suuruusjärjestykseen:

a) 0.056074 (04)	a-b = 4.163E-3
b) 0.051911 (03)	a-c = 0.012302
c) 0.043772 (02)	b-c = 8.139E-3

$$\begin{aligned}
 a - b D &= 2.80 \cdot \sqrt{4.5356E-4} \cdot \sqrt{(111+81)/(2 \cdot 111 \cdot 81)} = 6.61618E-3 \\
 (7) \quad a - c D &= 3.36 \cdot \sqrt{4.5356E-4} \cdot \sqrt{(111+25)/(2 \cdot 111 \cdot 25)} = 0.001120 \\
 b - c D &= 2.80 \cdot \sqrt{4.5356E-4} \cdot \sqrt{(81+25)/(2 \cdot 81 \cdot 25)} = 0.0421
 \end{aligned}$$

Testisuureiden ja erotusten vertailu osoittaa, että uudistuskypsissä metsiköissä vuosikasvainversojen kuparipitoisuuksien keskiarvo on 5%:n riskillä merkittävästi korkeampi kuin nuorien kasvatusmetsiköiden alueella. Muita eri ryhmien välisiä eroavuuksien ei testillä voitu osoittaa, eli metsän kehitysluokalla ei aineiston mukaan ole merkittävää vaikutusta kerrossammalten Cd-, Fe-, Mn-, Ni- ja Zn-pitoisuuksiin. Kerrossammalten kasvu ei myöskään ole merkittävästi suurempaa vanhemmissa metsissä. Cu-pitoisuudet sen sijaan ovat vanhimmissa metsissä selvästi korkeammat kuin nuoremmissa metsissä. Tamm (1953) havaitsi kerrossammalten tuotannon pysyvän jokseenkin muuttumattomana erilaisissa kasvuympäristöissä. Alkuainepitoisuudet taas riippuvat ratkaisevasti etäisyydestä latvustoon. Huuhtoumat runkoa ja lehvästöjä pitkin saattavat aiheuttaa muutoksia absorboituvien metallien määrässä.

6 YHTEENVETO

Kuhmon alueen sammaltutkimus osoitti, että metallilaskeuma on kunnan alueella vähäistä ja vain osittain riippuvaista pistemäisistä päästölähteistä, kuten Kostamuksen metallirikastamosta ja Kuhmon keskustasta. Selkeimmin Kostamuksesta riippuvaisia metalleja ovat kadmium, kupari ja mangaani. Rauta- ja nikkelipitoisuudet puolestaan näyttävät olevan riippuvaisia Kuhmon keskustasta. Sinkkipitoisuudet näyttävät kokonaisuudessaan edustavan alueellista kaukolaskeumaa. Tutkimus osoitti myös, että metallipitoisuudet ja versomassat eivät kuparia lukuunottamatta tilastollisesti poikkea toisistaan merkittävästi eri metsän kehitysluokissa. Tämän mukaan eri kehitysluokista kerättyjä näytteitä voidaan käyttää alueellisen metallilaskeuman tutkimiseen ilman, että kasvu-ympäristöstä aiheutuvat poikkeamat kasvaisivat liian suuriksi.

Mitatut metallipitoisuudet olivatkin alhaisia verrattuna koko maan keskiarvoihin. Kupari- ja sinkkipitoisuudet liittyvät kuitenkin tavalla tai toisella sammalten kasvua hidastaviin tekijöihin ja rautapitoisuudet kasvua edistäviin tekijöihin. Mikäli Kostamuksen metallirikastamon tuotanto kasvaa ennustetulla tavalla, kasvaa myös rikastamon ympäristöön kulkeutuvien raskasmetallipäästöjen määrä, ellei rikastamon savukaasupäästöjä puhdisteta nykyistä tehokkaammin.

7 KIITOKSET

Tämän raportin tekijät haluavat kiittää seuraavia tutkimusta edistäneitä henkilöitä: aluejohtaja Anja Finne ja hoitoaluepäällikkö Rainer Sundman järjestivät maastotöihin ja näytteiden käsittelyyn työvoiman. Metsätalousteknikko Timo Jalkanen ja fil.yo. Katja

Juntunen johtivat kenttätöitä. Fil.lis. Olli Järvinen järjesti laboratoriotilat esikäsittelyjä varten. Dos. Markku Löytönen teki osan tilastoanalyysistä. Fil. lis. Ahti Mäkinen antoi käyttöömme referenssimateriaalia analyysien luotettavuuden varmistamiseksi sekä luki käsikirjoituksen ja antoi siitä rakentavaa kritiikkiä. LuK Jukka Päivärinta auttoi kartografiassa. Prof Rauno Ruuhijärvi tarjosi laboratoriotilat analyysjä varten. Hankkeen rahoittivat Ympäristöministeriön Itä-Eurooppa -projekti, Ympäristöministeriön kansainvälisten asioiden toimisto ja Metsähallituksen Kainuun puistoalue.

KIRJALLISUUS

- Ahti, Teuvo, Hämet-Ahti, Leena & Jalas, Jaakko (1968). Vegetation zones and their sections in northwestern Europe. *Annales Botanici Fennici* 3, 169-211.
- Aulio, Kai (1982). Nutrient accumulation in Sphagnum mosses. II. Intra- and interspecific variation in four species from ombrotrophic and minerotrophic habitats. *Annales Botanici Fennici* 19, 93-101.
- Dunning, F.W., Garrard, P., Haslam, H.W., Ixer, R.A. (toim) (1989). Mineral deposits of Europe. Volume 4/5: Southwest and Eastern Europe, with Iceland. The Institution of Mining and Metallurgy and The Mineralogical Society, London, 289.
- Folkeson, Lennart (1979). Interspecies calibration of heavy-metal concentrations in nine mosses and lichens: -applicability to deposition measurements. *Water, Air and Soil Pollution* 11, 253-260.
- Hanhela, Pentti & Vainio, Maarit (1987). Lentuan seudun kasvillisuuskartoitus. Oulun yliopisto. 50 s.+ liitteet.
- Helminen Veikko (1987a). Lämpöolot. Teoksessa Alalammi, Pentti (toim.): Suomen kartasto vihko 131. Ilmasto, 4-10. Maanmittaushallitus, Suomen maantieteellinen seura, Helsinki.
- Helminen Veikko (1987b). Ilmanpaineen vaihtelut. Teoksessa Alalammi, Pentti (toim.): Suomen kartasto vihko 131. Ilmasto, 10. Maanmittaushallitus, Suomen maantieteellinen seura, Helsinki.
- Hynninen, Veikko (1986). Monitoring of airborne metal pollution with moss bags near an industrial source at Harjavalta, southwest Finland. *Annales Botanici Fennici* 23, 83-90.
- Kainuun-Pohjois-Karjalan taskutilasto 1991. Kainuun liitto, Pohjois-Karjalan seutukaavaliitto. Kajaani 1992.
- Kalliola, Reino (1973). Suomen kasvimaantiede. 308 s. WSOY, Porvoo.
- Kemiläinen, Hannu (1988). Kuhmon Lentuan alueen geomorfologian perusselvitys. Oulun yliopisto, maantieteen laitos. 61 s. + liitteet.

- Kravtshenko, A., V: (1992). Sostojanie stsvogo napotshennovo pokrova. Teoksessa: Lazareva, I.P., Kutshko, A.A., Kravtshenko, A.V., Gabukova, V.V., Litinski, P.Ju., Potasheva M. A. & Kalinkina, N.M. (toim.). Vlijanie aerotegenogennovo zagriznenija na sostojanie osnovnyh lesov severnoi Karelii. Karelskii Nauchnyi tsentr RAN Institut Lesa, 20-24.
- Kubin, Eero (1990). A survey of element concentrations in the epiphytic lichen *Hypogymnia physodes* in Finland in 1985-1986. Teoksessa: Kauppi, Pekka, Anttila, Pia, Kenttämies, Kaarle (toim.): Acidification in Finland. Finnish Acidification Research Programme HAPRO 1985-1990, 421-446. Springer-Verlag, Berlin.
- Kubin, Eero & Issakainen, Anna-Liisa (1991). Raskasmetallilaskeuma Pohjoismaissa 1990, ennakkotiedonanto Suomen tuloksista. 28 s. Metsäntutkimuslaitos, Muhoksen tutkimusasema.
- Kuukausikatsaus Suomen ilmastoon. Yhteenveto 1989. Ilmatieteen laitos. Helsinki 8 s.
- Metsätilastollinen vuosikirja 1989. Metsäntutkimuslaitos. Gummerus, Jyväskylä 246 s.
- Mäkinen, Ahti (1977). Rahkasammal- ja turvepallot ilmansaastemittareina. Suo 28, 79-88).
- Mäkinen, Ahti (1989). Ravinteiden, hivenaineiden ja raskasmetallien määrittäminen kasvi- ja humusnäytteistä. Teoksessa Mäkinen Ahti & Lehmusvuori, Merja: Terrestrial kasviekologian laboratoriokurssin työohjeet, kemialliset analyysimenetelmät, 8-12. Helsingin yliopisto, kasvitieteen laitos. 60 s.
- Mäkinen Ahti (1992). Suullinen tiedonanto
- Mäkinen, Ahti & Pakarinen, Pekka (1977). Raskasmetallilaskeumien seuranta sammalten ja jäkäläiden avulla. Ympäristö ja terveys 8, 170-180.
- Mäkinen, Yrjö (1978). Tilastotiedettä biologeille. Synapsi r.y.:n kurssikirja. 4. painos. Turku 311 s.
- Oikari, Tuomas (1993). Suullinen tiedonanto 18. 2.1993
- Pakarinen, Pekka (1981a). Metal content of ombrotrophic Sphagnum mosses in NW Europe. Annales Botanici Fennici 18, 281-292.
- Pakarinen, Pekka (1981b). Nutrient and trace metal contents and retention in reindeer lichen carpets of Finnish ombrotrophic bogs. Annales Botanici Fennici 18, 265-274.
- Pakarinen, Pekka & Mäkinen, Ahti (1976). Suosammaleet, -jäkälät ja männyn neulasen raskasmetallien kerääjinä. Suo 27, 77-82.
- Pakarinen, Pekka & Tolonen, Kimmo (1976). Regional Survey of Heavy Metals in Peat Mosses (*Sphagnum*). Ambio 5, 38-40.

- Pilegaard, K. (1979). Heavy metals in bulk precipitation and transplanted *Hypogymnia physodes* and *Dicranoweisia cirrata* in the vicinity of danish steelworks. Water, air and soil pollution 11, 77-91.
- Rankama Kalervo (toim) (1964). Suomen geologia. 414 s. Kirjayhtymä Helsinki.
- Rinne, R.J.K. & Mäkinen, A.I. (1988). Regional and species variations in metal content on two woodland mosses *Pleurozium schreberi* and *Hylocomium splendens* in Finland and northern Norway. Silva Fennica Vol 22, 1, 89-97.
- Ross, Howard B. (1990). On the use of mosses (*Hylocomium splendens* and *Pleurozium schreberi*) for estimating atmospheric trace metal deposition. Water, air and soil pollution 50, 63-76.
- Rühling, Åke, Brumelis, Guntis, Goltsova, Natalia, Kvietkus, Kestutis, Kubin, Eero, Liiv, Siiri, Magnússon, Sigurdur, Mäkinen, Ahti, Pilegaard, Kim, Rasmussen, Lennart, Sander, Enel & Steinnes, Eiliv, (1992). Atmospheric Heavy Metal Deposition in Northern Europe 1990. NORD 1992:12. Nordiska ministerrådet, København. 50 s
- Rühling, Åke, Rasmussen, Lennart, Pilegaard, Kim, Mäkinen, Ahti & Steinnes, Eiliv (1987). Survey of atmospheric heavy metal deposition in the Nordic countries in 1985 - monitored by moss analysis. NORD 1987:21, 44 s.
- Rühling, Åke & Tyler, Germund (1968). An ecological approach to the lead problem. Botaniska Notiser 121, 321-342.
- Rühling, Åke & Tyler, Germund (1969). Ecology of heavy metals - a regional and historical study. Botaniska Notiser 122, 248-259.
- Rühling, Åke & Tyler, Germund (1970). Sorption and retention of heavy metals in the woodland moss *Hylocomium splendens* (Hedw.) Br. et Sch. Oikos 21, 92-97.
- Rühling, Åke & Tyler, Germund (1973). Heavy metal deposition in Scandinavia. Water, Air and Soil Pollution 2, 445-455.
- Rühling, Åke & Tyler, Germund (1984). Recent changes in the deposition of heavy metals in northern Europe. Water, Air and Soil Pollution 22, 173-180.
- Saarnisto, Matti & Peltoniemi, Hannu (1984). Glacial stratigraphy and compositional properties of till in Kainuu, eastern Finland. Fennia 162:2, 163-199.
- Saarnisto, Matti & Taipale, Kalle (1985). Lithology and trace-metal content in till in the Kuhmo granite-greenstone terrain, eastern Finland. Journal of Geochemical Exploration 24, 317-336.
- Seppälä, Matti (1986). Geomorfologinen aluejako. Teoksessa Alalammi, Pentti (toim.): Suomen kartasto vihko 121-122. Maanpinnan muodot, 17-18. Maanmittaushallitus, Suomen maantieteellinen seura. Helsinki.

- Serkkula Seppo (1987a). Tuulen ajalliset ja paikalliset vaihtelut. Teoksessa Alalammi, Pentti (toim.): Suomen kartasto vihko 131. Ilmasto, 10-12. Maanmittaushallitus, Suomen maantieteellinen seura, Helsinki.
- Serkkula Seppo (1987b). Pilvisyys. Teoksessa Alalammi, Pentti (toim.): Suomen kartasto vihko 131. Ilmasto, 16. Maanmittaushallitus, Suomen maantieteellinen seura, Helsinki.
- SFS 5671. Ilmansuojelu. Bioindikointi. Sarmalten kemiallinen analyysi. Näytteenotto, esikäsittely ja tulosten esittäminen. Suomen Standardoimisliitto SFS, Helsinki 1990. 4 s.
- Solantie Reijo (1987a). Vuodenaikaisvaihtelut. Teoksessa Alalammi, Pentti (toim.): Suomen kartasto vihko 131. Ilmasto, 13-16. Maanmittaushallitus, Suomen maantieteellinen seura, Helsinki.
- Solantie Reijo (1987b). Sade- ja lumiolut. Teoksessa Alalammi, Pentti (toim.): Suomen kartasto vihko 131. Ilmasto, 18-22. Maanmittaushallitus, Suomen maantieteellinen seura, Helsinki.
- Synthesis Report. Environmentally priority action programme for Leningrad, Leningrad Region, Karelia and Estonia. Ministry of the Environment of Finland. Plan-center LTD, Helsinki 1991. 193 s.
- Tamm, Carl Olof (1953). Growth, yield and nutrition in carpets of a forest moss (*Hylocomium splendens*). Meddelanden från statens skogsforskningsinstitut 43, 1-140.
- Tapion taskukirja 1986. 20. uudistettu painos. 594 s. Kirjayhtymä, Jyväskylä
- Tikkanen, Veikko (1986). Kuhmo. Teoksessa Rikkinen, Kalevi, Sihvo, Hannes, Eskola, Matti, Tiitta, Allan & Iso-Markku, Jaana(toim.): Finlandia 8, 73-77. Otava Helsinki.
- Väisänen, Seija (1986). Effects of air pollution by metal, chemical and fertilizer plants on forest vegetation at Kokkola, W Finland. Annales Botanici Fennici 23, 305-315.

VESI- JA YMPÄRISTÖHALLINNON JULKAISUJA - sarja A

68. Porvoonjoen kuormituselvitystyöryhmä; Lehtonen, Eija & Penttilä, Sirpa (toim.): Porvoonjoen kuormituselvitys. Helsinki 1991.
69. Mikkelin vesi- ja ympäristöpiiri: Mikkelin läänin vesien hoito 1990-luvulla. Helsinki 1991.
70. Louekari, Kimmo; Saarikoski, Heli & Joki-Kokko, Eeva: Kadmium ympäristössä. Helsinki 1991.
71. Kokkolan vesi- ja ympäristöpiiri: Keski-Pohjanmaan vedet ja ympäristö. Helsinki 1991.
72. Freindling, Alexander & Heitto, Lauri: Primary production of inland waters. Helsinki 1991.
73. Pennanen, Jussi: Toutain Kokemäenjoen keskiosan ja Loimijoen järjestelyn vaikutusalueella. Helsinki 1991.
74. Hildén, Mikael; Hakaste, Tapio; Korhonen, Pekka & Rahikainen, Eljas: Kokemäenjoen keskiosan ja Loimijoen kalatalouden intressianalyysi. Helsinki 1991.
75. Ihme, Raimo; Heikkinen, Kaisa & Lakso, Esko: Pintavalutus turvetuotantoalueiden valumavesien puhdistuksessa. Helsinki 1991.
76. Pasanen, Jaana: Öljyisen maan ja jätteen mikrobiologinen puhdistus. Helsinki 1991.
77. Ihme, Raimo; Isotalo, Lauri; Heikkinen Kaisa & Lakso, Esko: Turvesuodatus turvetuotantoalueiden valumavesien puhdistuksessa.
Ihme, Raimo; Heikkinen Kaisa & Lakso, Esko: Laskeutusaltaiden toimivuuden parantaminen turvetuotantoalueiden valumavesien käsittelyssä.
Ihme, Raimo; Heikkinen Kaisa & Lakso, Esko: Turvetuotantoalueiden kuormituksen pidättäminen sarkaojiin. Helsinki 1991.
78. Rantala, Aulis (toim.): Vesistöjen kalkitus happamien sulfaattimaiden vaikutusalueella. Helsinki 1991.
79. Kiiminkijoen vesiensuojelusuunnittelun työryhmä; Hynninen, Pekka (toim.): Kiiminkijoen vesiensuojelusuunnitelma. Helsinki 1991.
80. Keski-Suomen vesi- ja ympäristöpiiri: Keski-Suomen kehittyvät vesivarat. Helsinki 1991.
81. Haapala, Kirsti & Eurén, Maija: Luonnonvesien ja jätevesien kiintoainemäärityksen ongelmista. Helsinki 1991.
82. Laine, Anne & Heikkinen, Kaisa: Turvetuotannon kalastovaikutukset. Helsinki 1991.
83. Vesihuoltolaitokset 31.12.1988 ja 31.12.1989. Helsinki 1992.
84. Sandman, Olavi; Turkia, Jaana & Huttunen, Pertti: Paleolimnologinen tutkimus metsäojituksen ja -lannoituksen vesistövaikutuksista Juupajoen Kalliojärvässä. Helsinki 1992.
85. Helsingin vesi- ja ympäristöpiiri: Uudenmaan ja Etelä-Hämeen vedet. Helsinki 1991.
86. Roila, Tuija: Pienvesien happamoitumisen seuranta vuosina 1979 - 1989.
Roos, Jaana: Puskurikapasiteetin muutokset eräissä pienjärvissä vuosien 1937 - 48 ja 1988 välillä. Helsinki 1992.
87. Ollikainen, Minna: Karjalan Pyhäjärven tila 1980-luvulla sedimentin piilevien ilmentämänä. Helsinki 1992.
88. Lepistö, Liisa: Planktonlevien aiheuttamat haitat. Helsinki 1992.
89. Rantakangas, Jorma: Perkauksen aiheuttaman kiintoainevirtaaman ennakointi. Helsinki 1992.
90. Kaijalainen, Erkki (toim.): Sonkajärven reitin vesien käytön yleissuunnitelma. Helsinki 1992.
91. Salo, Simo: The fate of chemicals spilled on water. A literature review of physical and chemical processes. Helsinki 1992.
92. Mäkirinta, Urho & Tolonen, Pasi: Vaalan Järvikylän järvien kasvillisuus järvien tilan kuvaajana. Helsinki 1992.
93. Mäkirinta, Urho: Muutoksia Alavetelin Isojärven kasvillisuudessa 1973 - 1981. Helsinki 1992.
94. Nakari, Tarja: Porvoon edustan merialueen meriveden vaikutuksista sumpputettujen ja luonnonkalojen elintoimintoihin. Helsinki 1992.
95. Torpström, Heikki & Lappalainen, Matti: Järvien biomanipulaation perusteita ja käytännön mahdollisuuksia. Helsinki 1992.
96. Salonen, Seija; Frisk, Tom; Kärmeniemi, Tellervo; Niemi, Jorma; Pitkänen, Heikki; Silvo, Kimmo & Vuoristo, Heidi: Fosfori ja typpi vesien rehevöittäjinä – vaikutusten arviointi. Helsinki 1992.
97. Assmuth, Timo; Strandberg, Tapio; Joutti, Anneli & Kalevi, Kirsti: Kemiallisesti saastuneiden maa-alueiden tutkimusmenetelmät. Helsinki 1992.
98. Kivimäki, Anna-Liisa: Tekopohjavesilaitokset Suomessa. Helsinki 1992.
99. Tanninen, Risto: Arvot ja asenteet Pyhäjoen vesiensuojelusuunnittelussa. Helsinki 1992.
100. Kuopion vesi- ja ympäristöpiiri: Rautalammin reitin vene- ja retkisatamasuunnitelma. Helsinki 1992.

101. Eloheimo, Karri: Veneily ja sen ympäristövaikutukset. Helsinki 1992.
102. Sytyke 16. Sannholm, Gun & Söderström, Mirja: Entsyymikäsittelyn merkitys sulfaattimassan valkaisuissa. Helsinki 1992.
103. Sytyke 9. Raitio, Laura: Siistausprosessin ympäristökuormitus. Helsinki 1992.
104. Sytyke 17. Jantunen, Esko: Jätevesipäästötön paperitehdas. Helsinki 1992.
105. Sytyke 10. Lehtinen, K.-J. & Tana: Effects in mesocosms exposed to effluents from bleached hardwood kraft pulp mill. Helsinki 1992.
106. Hudd, Richard; Toivonen, Anna-Liisa & Wistbacka Ralf: Malax å fiskeriutredning. Helsinki 1992.
107. Rontu, Mika: Pohjaveden alkalointi kalkkikivisuodatuksella. Helsinki 1992.
108. Kuopion vesi- ja ympäristöpiiri: Rautalammin reitti - Kansallisvesi. Helsinki 1992.
109. Sytyke 11. Junttila, Vesa: Sellutehtaan ympäristökuormitusten pienentäminen ja hallinta uudella tehdaslayoutilla. Helsinki 1992.
110. Sytyke 20. Kara, Mikko: Natrium- ja rikkitaseen säätömahdollisuuksia suomalaisessa sellutehtaassa. Helsinki 1992.
111. Kauppi, Marja: Repoveden alueen vesistöjen perusselvitys. Helsinki 1992.
112. Lindholm, Tapio (toim.): Sukkessiotutkimusten tuloksia Suomen ja SNTL:n luonnonsuojelualueilta. Helsinki 1992.
113. Sytyke 2. Hatakka, Annele; Valo, Marjatta & Lankinen, Pauliina: Puunjalostusteollisuuden jätevesien käsittely valkolahosienillä ja niiden entsyymeillä. Helsinki 1992.
114. Sytyke 19. Krogerus, Mårten & Hynninen, Pertti: Sellu- ja paperiteollisuuden päästöjen käsittelyvaihtoehdot ja kustannukset. Helsinki 1992.
115. Hyvärinen, Pekka; Salojärvi, Kalervo; Pushkin, Sergei & Ahonen, Mikko: Kalojen vaellus Oulujärvestä Oulujokeen. Helsinki 1992.
116. Ettala, Matti & Koskela, Juhani: Kloorifenolipitoisten pohjavesien käsittely aktiivihiilisuodatuksella ja aktiivilietemenetelmällä. Helsinki 1992.
117. Sytyke 6. Myréen, Bertel: Suomen metsäteollisuuden tila vuonna 1995. Helsinki 1992.
118. Lyly, Olavi: Torjunta-aineiden käytön kannattavuus ja ympäristöhaittojen vähentäminen. Helsinki 1992.
119. Sytyke 21. Laxén, Torolf: Organosolvkeitot. Helsinki 1992.
120. Sytyke 4. Pere, J; Thun, R; Alén, R; Kyllönen, H & Viikari, L: Metsäteollisuuden jäteliitteet. Helsinki 1992.
121. Vesihuoltolaitokset 31.12.1990. Helsinki 1992.
122. Sytyke 14. Siitonen, Heikki; Wartiovaara, Jyrki & Kasanen, Pirkko: Sellu- ja paperitehdas-integraatin ympäristönsuojelutoimien hyötyjen ja haittojen arviointi - casetutkimus. Helsinki 1992.
123. Sytyke 22. Malinen, Raimo: Skenaarioanalyysi massan valmistuksen kehitysvaihtoehdoista. Helsinki 1992.
124. Sytyke 22A. Vasara, Petri: Skenaarioiden tuottaminen ja analyysi massanvalmistukselle Suomessa 1995 - 2010. Helsinki 1992.
125. Törrtö, Heli; Kaakinen, Eero & Alasaarela, Erkki: Ympäristövaikutusten arviointi aluehallinnossa - esimerkkinä Oulun lääni. Helsinki 1992.
126. Ekholm, Matti: Suomen vesistöalueet. Helsinki 1992.
127. Aura, Erkki; Puustinen, Markku; Virtanen, Seija; Mikkola, Hannu; Luoma, Tarmo & Peltomaa, Rauno: Salaoitusmenetelmien vertailu Zaitsevon kenttäkokeessa. Helsinki 1992.
128. Sytyke 15. Puustinen, Jukka: Ravinteiden käytön optimointi metsäteollisuuden aktiivilietelaitoksissa.
Sytyke 3. Lammi, Reino & Pakarinen, Kauko: Typpiravinnelisäyksen vaikutus sellutehtaan aktiivilietelaitoksen toimintaan. Helsinki 1993.
129. Seppälä, Jyri: Ympäristöriskianalyysi teollisuudessa. Helsinki 1992.
130. Sytyke 18. Pihlaja, Kalevi (koordinaattori): Valkaistua sulfaattisellua valmistavan tehtaan jätevesien orgaanisen aineen hajoaminen ja ympäristövaikutukset. Helsinki 1993.
131. Lax, Hans-Göran; Koskenniemi, Esa; Sevola, Pertti & Bagge, Pauli: Tenojoen pohjaeläimistö ympäristön laadun kuvaajana. Helsinki 1993.
132. Sytyke 12. Kauppinen, Jyrki: Metsäteollisuuden hajuaineiden analytiikka ja seuranta. Helsinki 1993.
Sytyke 5. Välttilä, Olli: Biolietteen poltto.
133. Sytyke 10A. Lehtinen, K-J: Ecological impact of pulp mill effluents. Helsinki 1993.
134. Hirvi, Juha-Pekka (toim.): Operatiivinen ajelehtimis- ja kulkeutumismalli merialueille. Helsinki 1993.

135. Nystén, Taina: Kärkölän likaantuneen pohjavesialueen geologia ja matemaattinen mallintaminen. Helsinki 1993.
136. Vesihuoltolaitokset 1991. Helsinki 1993.
137. Ullvén, Johanna: Simpukoiden soveltuvuudesta kloorifenolien tutkimiseen murtovedessä. Helsinki 1993.
138. Peura, Pekka: Happamoituminen Merenkurkun pienissä järvissä.
Peura, Pekka: Försurning av småsjöarna i Norra Kvarken. Helsinki 1993
139. Huttunen, Leena & Soveri, Jouko: Luonnontilaisen roudan alueellinen ja ajallinen vaihtelu Suomessa. Helsinki 1993.
140. Kaatra, Kai & Marttunen, Mika (toim.): Oulujoen vesistön säännöstelyjen kehittämisselvitykset. Helsinki 1993.
141. Suomela, Tapani: Tuusulan kunnan Hyrylän pohjavesialueen suojelusuunnitelma. Helsinki 1993.
142. Kauppi, Lea (toim.): Itäisen Suomenlahden lintukuolemat keväällä 1992. Helsinki 1993.
143. Lahti, Kirsti; Lepistö, Liisa; Niemi, Jorma & Färdig, Michael: Eri vesilaitosten tehokkuus levien ja erityisesti syanobakteerien poistossa. Helsinki 1993.
144. Koskimies, Pertti: Population sizes and recent trends of breeding birds in the nordic countries. Helsinki 1993.
145. Alasaarela, Erkki; Hellsten, Seppo; Keränen, Reijo; Kurttila, Terttu & Riihimäki, Juha: Säännöstelyjen järvien rantojen kunnostuksen ja hoidon periaatteet - esimerkkinä Oulujoen vesistö. Helsinki 1993.
146. Korkka-Niemi, Kirsti; Sipilä, Annika; Hatva, Tuomo; Hiisvirta, Leena; Lahti, Kirsti & Alftan, Georg: Valtakunnallinen kaivovesitutkimus. Helsinki 1993.
147. Ruonala, Seppo (toim.): SYTYKE-ohjelman projektien yhteenvedot. Helsinki 1993.
148. Ruonala, Seppo (red.): Sammandrag av projekten i programmet SYTYKE. Helsinki 1993.
149. Ruonala, Seppo (ed.): Summaries of SYTYKE-projects. Helsinki 1993.
150. Niinioja, Riitta: Lietelannan levitys ja ravinteiden huuhtoutuminen. Helsinki 1993.
151. Hynninen, Pekka (toim.): Pyhäjoen vesiensuojelun yleissuunnitelma. Helsinki 1993.
152. Pohjois-Karjalan vesi- ja ympäristöpiiri: Pohjois-Karjalan vedet ja ympäristö 1990-luvulla. Helsinki 1993.
153. Rathmayer, Hans & Juvankoski, Markku: Tiivistemattoina käytettävät geomembraanit - toiminta-vaatimukset ja materiaalinvalintakriteerit. Helsinki 1993.
154. Vertanen, Suvi: Elinkaarianalyysi ja pakkaukset. Helsinki 1993.
155. Ahtela, Irmeli: Porvoon edustan merialueen tila vuosina 1985 - 1991. Helsinki 1993.
156. Mroueh, Ulla-Maija: Orgaanisten liuotteiden käyttö Suomessa. Helsinki 1993.
157. Hudd, Richard; Leskelä, Ari & Kjellman, Jakob: Kyrönjoen alaosan kalatalousselvitykset vuosina 1980 - 1990. Helsinki 1993.
158. Hottola, Petri : Lintuvesiohjelma puntarissa - Linnustoselvitys Pohjois- Karjalan lintujärvillä. Helsinki 1993.
159. Luther, Annika: Muurahaiset ympäristön seurannassa. Kirjallisuusselvitys. Helsinki 1993.
160. Haatainen, Susanna; Hammar, Taina; Huovila, Juhani; Lahti, Erkki; Oksman, Heikki; Punju, Pirjo & Taipainen, Irmeli: Hyalotheca dissiliens -koristelevän runsastumisen syistä Rautalammin reitillä. Helsinki 1993.
161. Turun vesi- ja ympäristöpiiri: Kiskonjoen luonnontaloudellinen kehittämissuunnitelma. Helsinki 1993.
162. Porvari, Petri; Verta, Matti: Elohopea ympäristössä ja tekoaltaissa - kirjallisuuskatsaus ja arvio Vuotoksen tekoaltaan hauen elohopeapitoisuuden kehittymisestä. Helsinki 1993.
163. Grönroos, Juha: Maatalouden ammoniakkipäästöjen vähentäminen. Vähentämismenetelmien arviointitutkimus. Helsinki 1993.
164. Heikkinen, Onni (toim.): Oulujärven vesiensuojelun yleissuunnitelma. Helsinki 1993.
165. Reuna, Marja, Perälä, Jaakko ja Aitamurto, Seppo: Lumen aluevesiarvoja Suomessa vuosina 1946 - 1993. Helsinki 1993.
166. Madekivi, Olli: Alusten aiheuttamien aaltojen ja virtausten ympäristövaikutukset. Helsinki 1993.
167. Shuibo, Pan (ed.) & Loukola, Erkki (ed.): Chinese-Finnish cooperative research work on dam break hydrodynamics. Helsinki 1993.
168. Vesihuoltolaitokset 1992. Helsinki 1993.

ISBN 951-47-8780-3
ISSN 0786-9592